表2　環境庁及び厚生省等で示された廃棄物関連の試験検査法

検　定　方　法	施　行　年　等
産業廃棄物に含まれる金属等の検定方法（金属等検定方法）	S48. 2 環境庁告示第 13 号
海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令第 5 条第 1 項に規定する埋立場所等に排出しようとする廃棄物に含まれる金属等の検定方法	S48. 2 環境庁告示第 14 号
廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令第 6 条第 1 項第 4 号に規定する海洋投入を行うことができる産業廃棄物に含まれる油分の検定方法（油分検定方法）	S51. 2 総理府令第 5 号
油等の焼却方法に関する黒煙等の基準を定める総理府令第 7 条の環境庁長官が定める検定方法	S55. 10 環境庁告示第 62 号
船舶又は海洋施設において焼却することができる油等に含まれる金属等の検定方法	S55. 10 環境庁告示第 63 号
特別管理産業廃棄物に係る基準の検定方法	H 4. 7 厚生省告示第 192 号
ダイオキシン特別措置法関連［H 11. 7. 法律第 105 号］	施　行　年　等
廃棄物処理におけるダイオキシン類標準測定分析マニュアル	H 9. 2 厚生省
排ガス：JIS K 0311 “排ガス中のダイオキシン類及びコプラナー PCB の測定方法	H11. 9 JIS
排水：JIS K 0312 “工業用水・工場排水中のダイオキシン類及びコプラナー PCB の測定方法	H11. 9 JIS
ばいじん等：廃棄物焼却炉に係るばいじん等に含まれるダイオキシン類の量」の基準及び測定の方法に関する省令第 1 条第 2 項及び第 2 条の規定に基づき厚生大臣が定める方法	H 12. 3 厚生省告示第 3 号
最終処分場関連：放流水・地下水 最終処分場に係るダイオキシン類の水質検査の方法	H12. 3 環境庁・厚生省告示第 1 号
そ の 他 の 方 法 等	施　行　年　等
廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令（昭和 46 年政令第 300 号）第 3 第 2 号イの規定に基づき，厚生大臣の定める焼却の方法	H 9. 8 厚生省告示第 178 号
一般廃棄物の最終処分場又は産業廃棄物の最終処分場に係る水質検査の方法	H10. 6 環境庁・厚生省告示第 1 号
工作物の新築，改築又は除去に伴って生じた安定型産業廃棄物の埋立処分を行う場合における安定型産業廃棄物以外の廃棄物が混入し，又は付着することを防止する方法	H10. 6 環境庁告示第 34 号

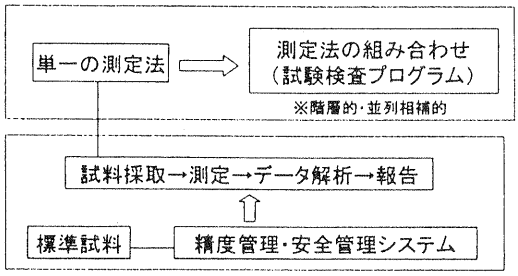


図1　試験検査法（システム）の枠組み

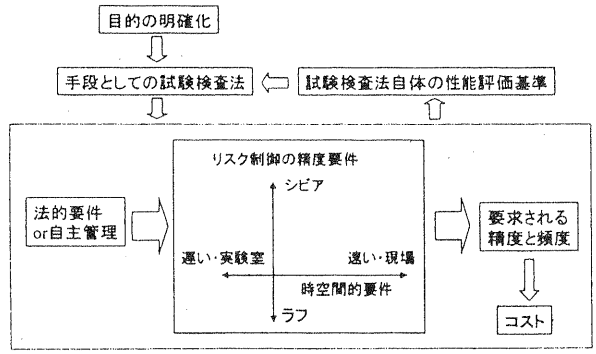


図2　試験検査法における目的の明確化と求められる要件

るべきである。試験・検査プログラムには，スクリーニング法と高精度詳細分析法の階層的な組み合わせや，異なる毒性情報を提供するバイオアッセイテストの並列的な組合わせのテストバッテリーなどが例としてあげられ，プログラムの総体として目的を達成しうる。

また，単一の測定法であっても，試料採取から測定，データ解析，報告までの一連のプロセス全体が測定法の範囲であり，特に廃棄物の試験・検査法の場合には試料の不均一性のために試料採取などが問題となるため，このような意識が必要不可欠であろう。

さらに視野を広げると，精度管理（内部精度・外部精度管理）や安全管理システムを含めて体系立てることが必要であり，精度管理の上では，国家標準としての標準試料が整備されることによって，効果的な内部および外部精度管理が実施できる。

試験・検査法を確立する上で，試験・検査法を用いる最終的な目的の明確化が必須である。図2は試験・検査法に求められる要件を理解する上で，目的の明確化の重要性を示したものである。試験・検査法は，あくまでも目的を達成するための客観的情報入手の手段であり，目的を明確化することで，試験・検査法に求められる要件も明確になる。廃棄物に伴うリスクの制御を例として考

えた場合，試験・検査法を利用する目的を明確化することによって，リスク制御の精度（厳密性）がどの程度必要とされるか（リスク制御の精度要件），また，どの場所（実験室・現場）でどの程度の速さで情報を獲得したいのか（時空間的要件），がはっきりする。もちろん，この二つの要件のレベルには，試験・検査法が法的要件に基づくものか，自主管理に利用するものかが影響する。また，二つの要件のレベルによって，試験・検査法に求められるデータ品質の精度やデータ取得頻度が決められ，最終的にはコストに跳ね返ってくる。

目的を明確化することによって，このような試験・検査法に求められる要件が客観的に決まれば，種々の試験・検査法が目的に合致したものであるかの性能評価の判断基準が標準化され，試験・検査法自体の評価にフィードバックできる。

以上，廃棄物の試験・検査法の枠組みと要件を考える上での視点について整理した。それらの視点を踏まえて，以下では21世紀に向けての試験・検査法のビジョンについて論じてみたい。

図3に筆者らの描くイメージを模式的に示してみた。21世紀に向けて目的は多様化するであろう。「適正処理」から「循環型社会形成」が大きな命題になり，リサイクルのための試験・検査法のあり方が今に増して問われてくるものと考えられる。また，これまでの「生活環境の保全」，「健康影響の低減」から，「地球環境保全」，「生態系影響の低減」までも考慮されることになり，資源・エネルギー消費や温暖化，生態毒性，生態系影響などの評価も求められよう。

このような将来へ向けてのベクトルは，試験・検査法の評価対象が静脈側から動脈側までも及んでくることを意味し，これまでの「廃棄物」から「循環資源」，「製品・原料」までも遡って評価することを要請するものである。現在の「廃棄物試験・検査法」にとどまることはできない状況になることは間違いない。さらに，このような目的の多様化に伴って，必要とされる情報量は増加

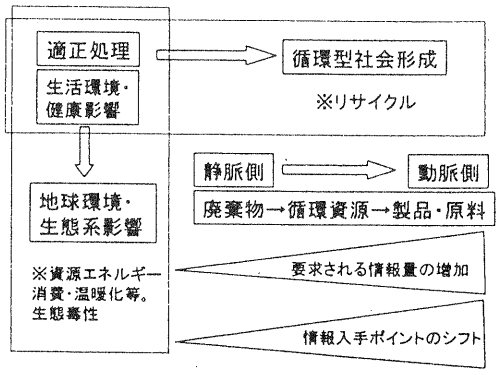


図3　21世紀に向けての試験検査法のビジョン

し，より上流側の情報が必要とされてくるであろう。その意味では，情報入手のポイントもより上流側にシフトするべきであり，そのほうが目的達成のためにはトータルとしては高いパフォーマンスを示すことが認識されてくるだろう。情報取得の方法も，情報技術（IT）などを駆使した製品に表示される「グリーン・バーコード」の読みとりなどによって，適正なリサイクル・処理方法を排出段階で迅速に判断でき，それらの情報がオンラインで集約・管理できるようなシステムが構築されるなど，様変わりするかもしれない。現在の「廃棄物試験・検査法」は，このようなIT化の流れの中で，必要不可欠な部分以外は，逆により簡素化される方向に進むかもしれない。

一方，試験・検査法の目的の多様化によって，動脈側の試験・検査体制とも相互連携が必要になってこよう。国際的な動向とも整合を図り，国際的な標準化にも積極的に関与していかなければならない。また，情報開示が求められる時代の中で，試験・検査法は市民を含めたあらゆる主体間の情報コミュニケーションツールとしても機能を果たすべきであり，客観的でかつ理解しやすい情報提供の役割も重要な要件として求められてくることが考えられる。

3. 2　ごみ質に係る試験・検査法の視点から

ごみの収集，運搬，処理，処分の責任を負う区市町村の現在の重要課題は，ごみの発生・排出抑制，資源化，適正処理であり，ごみの分別収集，資源化等の行政施策を効率的に推進していくためには，ごみの量と質の流れを正確に把握することが求められている。また，ごみの資源化および適正処理にともなう環境負荷量についての関心も高まっており，ごみ中の有害物質についての情報も求められている。

しかし，このようなニーズには，ごみ焼却施設に搬入されるごみの性状を知ることを目的にしている「環整第95号法」では，十分には対応できない。そのため，一部の都市においては，「環整第95号法」より詳細な分類項目で組成分析を行ったり，廃棄物処理計画や分別収集計画の策定，ごみ収集の有料化，資源ごみ回収等の行政施策の効果を評価する上で有用となる，ごみの発生・排出原単位やリターナブルびん，缶等のごみ中の資源化可能物等を調べるごみの組成分析も行われている。

平成12年4月には循環型社会形成推進基本法が成立したことから，今後は一部の都市だけではなく，多くの区市町村が効率的にごみ性状を把握してその情報を国・自治体，事業者，消費者が共有することが，21世紀に向けての循環型社会を構築してい上できわめて重要とな

る。そこで，現在実施されている環整第95号法によるごみ組成分析法の課題を明らかにして，今後の改善の方向性を示した。

環整第95号法には次の三つの大きな課題があると考えられる。

(1) ごみの組成の測定を乾ベースで行うか湿ベースで行うかあいまいである。

環整第95号法では，前述したようにごみの組成調査は乾燥したごみについて行うとしているので，乾ベースを得ること標準としている。ただし，湿ベースで行う方法も認めているために，ごみの組成データは，乾ベースまたは湿ベースで得られている。しかし，乾ベースと湿ベースの単純比較はできないので，データを解釈するときに混乱する場合があり，データを共有して相互利用する上で支障をきたす。また，組成は乾ベースではなく，湿ベースの方が排出段階でのごみの状況がわかるので，ごみや資源物全体の施策に活用できる点でリサイクルの観点からは有用である。

(2) 現在の行政ニーズに対応できる分類項目ではない。

環整第95号法で示されている「紙，布類」，「ビニール，合成樹脂，ゴム，皮革類」，「木，竹，わら類」，「ちゅう芥類」，「不燃物類」および「その他」の6種類の分類情報だけでは，現在のごみの排出抑制，資源化，適正処理等の行政施策を円滑に進めていく上では不十分である。とくに，平成12年4月から完全実施された容器包装リサイクル法に対応できるような分類項目の設定や「竹，わら類」といった現在のごみにはほとんど含まれていない項目の整理，分類項目の相違点の明確化（たとえば「ちゅう芥類」に分類される卵殻や貝殻と「不燃物」との違いやビニールと合成樹脂の違い）が必要である。

(3) 化学物質に関する情報が把握できない。

ごみ中には，さまざまな化学物質が混入している可能性がある。しかし，表1に示したように環整第95号法では，ごみの見かけ比重，水分，ごみの種類組成，灰分，可燃分，低位発熱量の測定を規定しているだけである。ごみ中の炭素，水素，窒素，塩素，硫黄，水銀・鉛・カドミウム等の重金属等を測定している例もあるが，これらはごみに含まれている化学物質のごく一部である。

また，化学物質の分析にあたっては，他の分野で使われている試験・検査方法が利用されるが，これらをそのままごみの試験・検査に適用することに十分に自信がもてない場合もある。たとえば，ごみ中の重金属分析のための前処理法として，通常は底質調査方法が利用されている。すなわち，Mn, Cd, Cu等の分析には塩酸—硝酸分解を行い，Asの分析には硫酸—硝酸分解を行っている。しかし，前処理した試料を機器分析する際には，塩酸と硫酸の使用は避け，硝酸だけを使用したいが，底質調査方法にはそのような記述はない。さらに，試料を電気炉で燃焼分解する乾式分解法が示されている衛生試験方法は，酸分解に時間がかかる紙やプラスチックなどの試料の試験法として魅力的である。ただし，燃焼分解時に揮発損失する金属量に配慮が必要となる。

ごみ中の化学物質に関する情報を得るには，ある程度の経費や技術力等が必要となるので，適用例をふまえた一定の測定方法を示し，測定結果を共有できるシステムづくりが期待される。

このような(1)(2)(3)の課題があることから，現在標準方法とみなされている環整第95号法が早期に見直され，定期的に実施されているごみ組成調査結果が一層有効活用されることが望まれる。さらに，サンプリング方法も含めて，不均一である，変動が大きい，形状，材質等の物性がかなり異なる，微量なものも含む等の特徴をもつごみ試料にふさわしい総合的なごみ組成分析方法の検討が21世紀に向けて必要とされている。

3.3　化学性状に係る試験・検査法の視点から

近年，廃棄物に含まれる化学物質は，ヒトへの影響から生態系への影響へと拡大されてきており，さらにはリサイクルの観点も導入され複雑化してきている。さらには，「環境」や「自然」の概念も多様化し，ヒトと他の生物相（動植物・微生物など）との住み分けが困難となりつつあるにも関わらず，社会的にコンセンサスが得られるような環境の概念ができあがっていないため，環境維持のための試験・検査法が確立しにくいものとなっている。

また，限られた資源（経済・人的資源を含む）に優先順位をつけて適正に配分していくことが求められる現代社会では，人への安全性を確認するために「すべての地域で化学物質が不検出」といえる時代ではなく，地域ごとの管理対象化学物質を設定しないと経済的負担は膨大なものとなってしまい，そのしわ寄せは他の自然環境の維持に跳ね返ってくる。

したがって，どのような化学物質が含まれるかわからない廃棄物からあらゆる化学物質を抽出し，廃棄物の管理を行うのは不可能に近い。そこで，プライオリティの高い化学物質[4]について図4に示したような廃棄物の処理処分や廃棄物の物流に合わせた各環境質（大気・土壌・地下水・河川等）への影響を早急に調査する必要がある。

さらに，化学物質の管理の立場からみると微量毒性物質にのみに視点が置かれ，毒性が低いが大量に溶出され

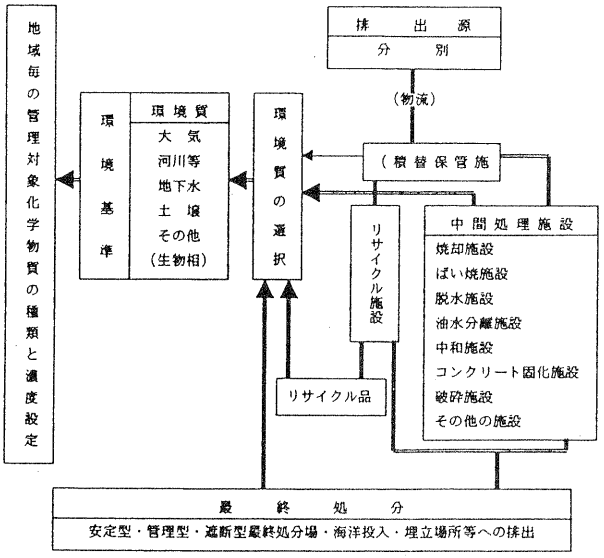


図4　廃棄物管理における環境質の選択と基準の設定

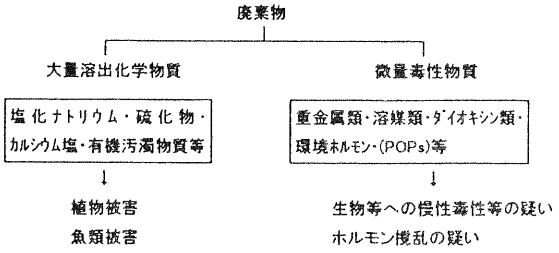


図5　化学物質の質と量

る化学物質により魚類や植物が死滅する例が多いので，大量化学物質による環境への影響を考慮した図5のような視点も取り入れなければならない。

その他，現在の試験・検査法の主体である溶出試験（環境庁告示第13号）の精度管理や方法論自体の再評価を行うことも必要であり，欧州標準化委員会CEN/TC 292でENV 12920として標準化が議論[5]されているように，環境庁告示第13号のような「規制試験」そのものをどのような科学的ロジックで再構築していくかが問われている。同様の問題は，土壌の溶出試験（環境庁告示第46号）を有効利用の判断に用いているケースにもいえることであり，リサイクル社会を構築していく上では課題解決の緊急性はさらに高い。

これらの観点に立ち，現在の化学性状に関する試験・検査法の評価と今後の課題を検討する対象としては，以下のような試験・検査法のカテゴリーに整理できる。

①現在の溶出試験（環境庁告示第13号等）の評価と精度管理のあり方
- 最終処分の分類のための試験検査法
- 特別管理産業廃棄物の分類のための試験検査法
- 有効利用判断のための試験検査法

②排出源における分別システム確立のための試験検査法
- 特別管理産業廃棄物の分類のための試験検査法
- リサイクルを行うための分別方法の確立（一部試験検査法の導入）

③物流システム（特に，積替保管施設等）をコントロールするための化学物質の管理
- 積替保管効率の向上（比重等）のため試験検査法の導入

④焼却処理における化学物質の管理
- 維持管理のための試験検査法
- 焼却処理に伴う排ガス・焼却灰・ばいじん・排水中の化学物質の試験検査法

⑤中間処理施設およびリサイクル施設等における化学物質の管理
- 維持管理のための試験検査法
- 最終処分の分類のための試験検査法
- リサイクルを行うための分別方法の確立（一部試験検査法の導入）

⑥最終処分場における化学物質の管理
- 維持管理のための試験検査法
- 安定型・管理型・遮断型廃棄物として要求される化学物質の試験検査法
- 最終処分場閉鎖に関する化学物質の試験検査法

3.4　バイオアッセイの適用の視点から

環境管理において監視また制御すべきとされる有害化学物質の数は増え続けている。現在，環境分野で測定の義務があるまたは測定が促されている有害物質は，たとえば水環境分野では水質環境基準の健康項目の27項目と要監視項目の22項目の50項目弱である。さらに将来測定対象となる候補として，平成10年に提示された「水環境保全に向けた取組のための要調査項目リスト」の300項目がある。また，社会の物流の末端にある廃棄物処理分野では，PRTR法が対象とする354物質の第1種指定化学物質，81物質の第2種指定化学物質も当然視野に入れる必要があるだろう。なお，最大の母数として，現在CAS（Chemical Abstract Service）に登録されている化学物質は約25万物質である。

より多数の物質を監視・制御しようとすると，測定のための労力，時間，コストが急騰する。先のダイオキシン類の環境基準等への追加で，33物質の測定で多大なコストと労力が費やされていることは誰の目にも明らかである。さらに，現状のようにある程度対策が進んだ段階で，苦労して測定したデータにND（not detectable）

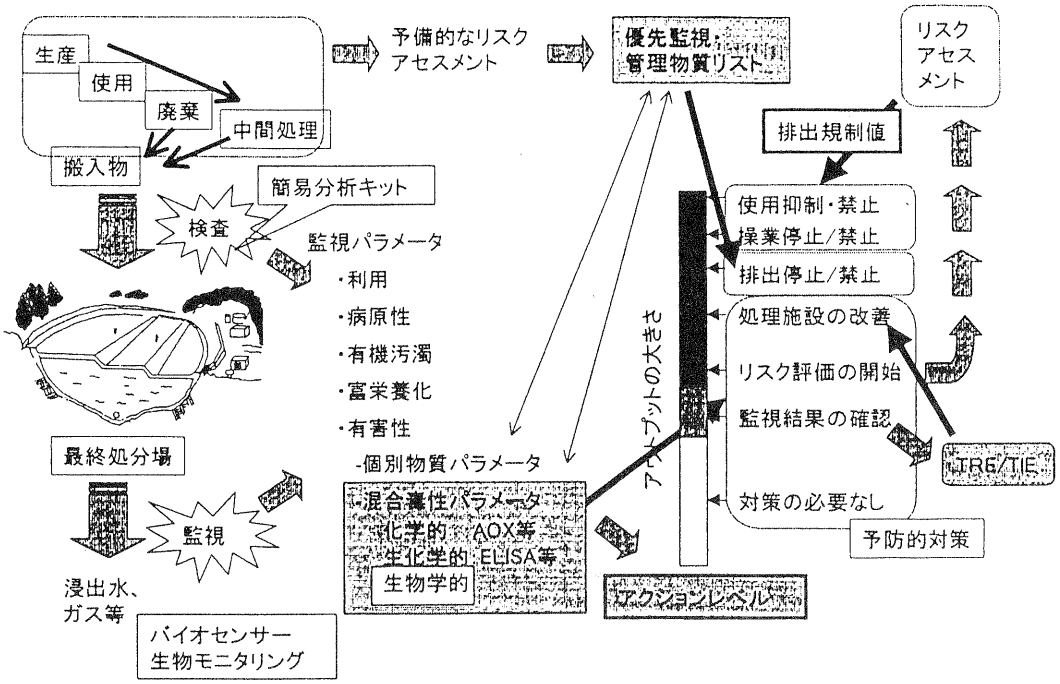


図6　混合毒性パラメータを用いた早期警戒システム

評価で用いられており，廃棄物分野への適用が有望なものが他にもいくつかある。

問題は，これらの試験法の廃棄物処理分野での適用例が少なく，廃棄物試料という混合物に対するフィージビリティや結果の評価手法（アクションレベルの設定根拠）が明らかではないことである。バイオアッセイサブ部会では，既存のバイオアッセイ手法（現在は主に遺伝子毒性試験）について，廃棄物処理施設管理（具体的には最終処分場浸出水等の排水，焼却灰等の固形廃棄物ならびに焼却施設排ガス等の排ガス）での適用に向けた，試料の調製法から評価法までの標準化（プロトコルの作成）を行い，これを用いた監視結果を蓄積し，試験法のバリデーションとリーズナブル（経験的）なアクションレベルの設定を目的としている。

もうひとつバイオアッセイを廃棄物処理施設管理に用いる利点は，難しい名前の化学物質の数字ではなく，生物への毒性というより実害に近いパラメータで施設運営の実際を施設管理者や住民に提示するリスクコミュニケーションの機能である。したがって，実験室に持ち帰ってではなく，なるべく現場で使え，即座に結果が得られるような手法の選択とソフィスティケーション（簡易化，迅速化ならびに自動化）も，重要な検討課題である。

4．おわりに

廃棄物の試験・検査法について米国ではSW-846として体系づけられており，わが国でも廃棄物試験・検査法の体系的な議論を早急に行わなければならない。その中では，本稿で述べてきたような，循環型社会を標榜した新たな視点での検討も必要となろう。政策的整備のための法制定の動きはめまぐるしく，そのために多くの投資がなされたが，廃棄物そのものを客観的かつ正確に把握するという最も基本的な作業のツールである試験・検査法の整備は軽視されてきた。新しい21世紀に向けて，試験・検査法の体系化に向けた検討の第一歩を踏み出すことが廃棄物学会に与えられた使命であろう。

最後に，本稿の執筆にあたっては，一般廃棄物に係わる2．1と3．2を谷川（ごみ質サブ研究会）が，産業廃棄物に係わる2．2と3．3を小野（化学性状サブ研究会）が，バイオアッセイ法に係わる3．4を山田（バイオアッセイサブ研究会）が分担し，その他の部分は各分担者による議論を踏まえて大迫が取りまとめた。当試験・検査法部会の他の幹事の方々からも多くのコメント等を頂き，感謝申し上げるとともに，本稿はそれらが反映された当部会の共同作業の成果であることを付記する。

参考文献

1）環境庁水質保全局海洋汚染廃棄物対策室監修：産業廃棄物分析マニュアル，日本環境測定協会（1996）
2）環境庁環境法令研究会編集：環境六法，中央法規（1999）
3）公害防止の技術と法規　編集員会編：公害防止の技術と法規（ダイオキシン類編），産業環境管理協会

(2000)
4) U.S. EPA: Chemical Ranking Report for the RCRA PBT List Docket (1998)
5) CEN: ENV 12920 (1997. 3)
6) A. Yasuhara et al.: Organic components in leachates from hazardous waste disposal sites, Waste Management & Research, 17, pp. 156 - 197 (1999)
7) 小野芳朗，山田正人：残留性生物濃縮性毒性化学物質のバイオアッセイによるリスク評価，廃棄物学会誌，Vol. 10, No. 2, pp. 156 - 169 (1999)
8) 山田正人：欧州における水環境管理戦略，水環境学会誌，Vol. 23, No. 7, pp. 18 - 23 (2000)
9) デービス L. フォード編(松井三郎・井出慎司監訳)：環境毒性削減：評価と制御　生物多様性のための地球環境技術，環境技術研究会，大阪 (1996)

Current Status and Prospect for the Future on Testing Methods for Integrated Waste Management

Masahiro Osako*, Yusaku Ono**, Noboru Tanikawa*** and Masato Yamada*

* National Institute of Public Health
** Center for Environmental Science in Saitama
*** Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection
†Correspondence should be addressed to Masahirob Osako
(4 - 6 -1, Shirokanedai, Minato-ku, Tokyo 108 - 8638, Japan)

Abstract

At the present, there are many testing methods characterizing municipal wastes and estimating the hazardousness of industrial wastes as well as evaluating the emissions from waste management facilities. For example, municipal waste analysis has been performed to control incineration, while the leaching test has been applied to specially-controlled-waste to select the final disposal method. However, the current circumstances surrounding the waste management have been changing drastically. A recycling system which considers the life-cycle of materials is needed. To meet these requirements, restructuring of the testing method for waste management has been eagerly requested from new aspects. In this paper, the current status of the testing method for waste management is introduced, to which several problems are discussed from the viewpoints of scope, objective and requirement of the testing system for the coming 21st century. In the system, focus was given to physical and chemical observation and bioassay.

Key words: test method, municipal solid waste, industrial waste, hazardous waste, bioassay, recycling

【特　集：廃棄物管理と試験・検査法－研究委員会研究活動（廃棄物試験・検査法）－】

今後のごみの物理組成調査方法

谷川　昇*

【要　旨】ごみの物理組成調査結果を有効活用するためには，湿ベースによるごみの物理組成調査の実施と詳細な組成分類項目の設定および統一化が必要であることを明らかにし，その実現の具体的方法を示した。また，ごみの物理組成調査結果にはごみ試料調製時および組成分類時における誤差が生じているので，結果は概数で他の情報とあわせて評価する，結果の変化は数年間のトレンドで判断する等の配慮が必要であることを示した。

キーワード：ごみ，物理組成，分類，湿ベース，乾ベース

1．はじめに

循環型社会形成推進基本法やリサイクルに関連する法律が成立または改正され，脱大量消費社会への動きが加速している。今後，循環型社会への転換を目指すにあたっては，国・自治体，事業者および消費者の役割分担と連携が基本となる。そのためには，信頼できるごみの性状データをもとに，ごみの発生・排出抑制，再使用，再利用，適正処理を進める上での国・自治体，事業者および消費者の役割の限界，課題等を相互に理解・議論し，それぞれが着実に行動する必要がある。

ごみの性状は，昭和52年11月4日付環整第95号厚生省環境衛生局水道環境部環境整備課長通知で示されている方法（以下環整第95号法と記す）によって主に調べられている。ただし，この方法には，ごみの種類組成（以下ごみの物理組成と記す）の測定を乾ベースで行うか湿ベースで行うかがあいまいであること，ごみの物理組成の分類項目が現在の行政ニーズに対応していないこと，化学物質に関する情報が把握できないこと等の課題[1]がある。各種の試験・検査・測定は，ある一定の目的に応じて実施されるが，目的は社会情勢やその場面によって変わる。環整第95号法は，昭和52年のニーズに応じて焼却されるごみの性状把握を目的に定められたものである。したがって，当時と比べてごみと資源物の詳細な流れが求められる現在においては，環整第95号法をそのまま適用したごみの物理組成調査では十分な情報が得られないことは自明である。しかし，多くの市町村は，厚生省が通知で示しているという理由から，依然として環整第95号法によってごみの物理組成調査を実施している。

そこで，環整第95号法を新たなニーズにも対応できるように発展させるために，ごみの物理組成調査方法の今後のあり方を提案するとともに，ごみの物理組成調査結果の評価にあたっての留意点を述べる。

2．ごみの物理組成調査方法の統一

ごみの物理組成調査では，ごみ集積所，ごみ収集車，中間処理施設のごみピット等から採取したごみ試料について，目で組成分類項目を判断し，手で選別をする。ごみ試料には臭気や汚れがあり，場合によっては粉じん等の飛散や感染性のおそれがあるもの，ガラス片・突起物等の危険物，汚物等の混入があり，ごみの物理組成調査時の作業環境はあまり良くない。この大変な努力によって得られるごみの物理組成調査結果を一層有効利用していくには，前述した環整第95号法の課題の解決を図る必要があるが，すぐに実行可能な以下の事項を提案したい。

原稿受付　2000. 10. 16
* 東京都環境科学研究所廃棄物研究室
連絡先：〒135－0064　東京都江東区青海2丁目地先

2. 1　湿ベースによる調査への統一

環整第95号法では，ごみを乾燥した後にごみの物理組成調査を行って，水分がほぼゼロの状態（乾ベース）での物理組成を得ることを標準としている。ごみを乾燥させない状態（湿ベース）でのごみの物理組成調査も認めているが，環整第95号法で標準となっている乾ベースの物理組成を調査している市町村が多い。たとえば，平成10年度の東京都においては，東京23区と31市町村（島しょを除く）の合計32の自治体のうち，湿ベースの物理組成だけを調査している自治体数は1，湿ベースと乾ベースの両方の物理組成を調査している自治体数は4とわずかであり，残りの自治体は乾ベースの物理組成だけを調査している[2)]。

乾ベースと湿ベースの物理組成調査の特徴を表1に示す。ごみ焼却においては，燃焼管理に密接な関係がある水分の把握が不可欠であること，乾燥したごみについて物理組成調査を行った方が組成分類作業が比較的楽であること等を考慮して，環整第95号法が定められたと推測される。しかし，廃棄物や資源物の流れの把握，廃棄物行政施策の立案やその効果判定等に利用できる組成データとしては，排出時のごみの状態が把握できる湿ベースの組成データの方が有用性が高い。

また，ごみの物理組成調査結果は，組成分類の操作方法の順序によって違いがみられる。その例として，環整第95号法に示されているようなごみを乾燥した後に組成分類した乾ベース測定値（前乾燥測定値）と乾燥しないで組成調査した後の試料を乾燥させて求めた乾ベース測定値（後乾燥測定値）との関係を図1に示す[3)]。前乾燥測定値と後乾燥測定値の紙，繊維，木草，プラスチックおよびガラス・金属等の不燃物の構成比はほとんど変わらない。しかし，厨芥では，前乾燥測定値が後乾燥測定値に比べて低くなり，長径2cm以下のその他可燃物では，前乾燥測定値が後乾燥測定値より高くなっている。これは，乾燥によって水分を多く含む厨芥が縮んで小片となったり，脆くなって細分化しやすくなるためと考えられる。このように，乾燥の順序によってデータに違いがでてくるので，ごみの物理組成調査の操作手法をきちんと定める必要がある。

表1　乾ベースと湿ベースの物理組成調査の特徴

	利　　点	欠　　点
乾ベース	① ごみの組成分類時の衛生性が向上する。 ② ごみの組成分類時における分離性が向上する。 ③ 乾燥によってごみの腐敗の進行が抑えられ，試料を保存できる。 ④ ごみ中の水分を必ず把握できる。	① 排出時の状態とは違うごみの組成を調べている。 ② 乾燥によって形状が小さくなる項目の分類が難しくなる。
湿ベース	① 排出時のごみの組成が把握できる。 ② 組成調査結果がすぐに得られる。	① ごみの臭気，汚れ等があり，組成分類時の作業環境が良くない。 ② 分類対象ごみに付着した異物の分離に手間がかかる。

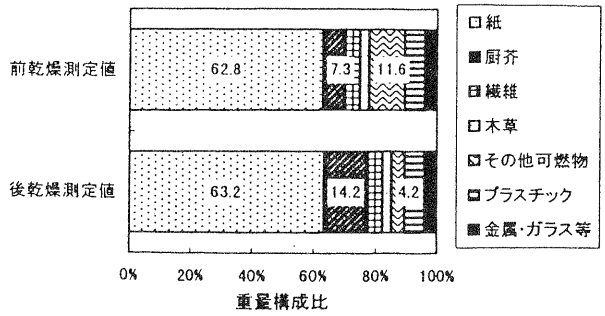


図1　乾燥順序の違いによる乾ベース物理組成の測定例

これらのことから，ごみの物理組成調査では湿ベースを標準とすることが妥当と考えられる。その実現はそれほど難しいものではなく，環整第95号法において，水分測定とごみの物理組成調査の順序を入れ替えて，先に湿ベースのごみの物理組成調査を行った後に，水分測定を行えば可能となる。さらに，組成分類項目ごとに乾燥して項目別の水分を求めれば，湿ベースの物理組成調査結果から乾ベースの物理組成を算出できるので，湿ベースと乾ベースの物理組成を知ることができる。また，ごみの乾燥順序の変更だけなので，ごみの物理組成調査に要する経費や作業量が従来より大きく増加することはないと考えられる。

2. 2　詳細な組成分類項目の設定と統一化

環整第95号法に例示されている組成分類項目は，焼却ごみを対象としていること，告示されてから約20年以上経過していることから，「竹，わら類」のように使われなくなっている用語の廃止やごみの排出抑制，資源化等にも有用な新たな組成分類項目も加えて，整理統合する必要がある。とくに，平成12年4月から完全施行された容器包装リサイクル法をはじめとするリサイクル関連法の効果の判定や今後の課題等を検討するためには，組成分類項目をある程度規格化して，データを相互に比較できようにすべきである。

環整第95号法では自主的な方法も認めており，東京23区，横浜，京都，大阪等の大都市では，環整第95号

表2　東京23区におけるごみの組成分類

大分類	中分類	小分類	
可燃物	紙類	新聞紙	
		雑誌	
		ダンボール	
		その他紙類	紙製ごみ袋
			紙パック
			紙おむつ
			OA用紙
			包装紙類
			その他
	繊維		
	厨芥		
	木草	剪定枝	
		その他	
	その他		
焼却不適物	プラスチック類	フィルム類	市販ポリ袋
			レジ袋
			容器包装フィルム
			その他フィルム
		発泡樹脂容器	トレイ類
			その他
		その他容器	PET容器
			その他
		製品	
		その他プラスチック	
	その他	ゴム	
		皮革	
不燃物	金属	鉄	飲料缶
			その他
		非鉄	飲料缶
			その他
	ガラス	ガラスびん類	飲料びん
			その他
		その他ガラス類	
	石・陶器		
	その他		

法の例示されている「紙，布類」，「ビニール，合成樹脂，ゴム，皮革類」，「木，竹，わら類」，「ちゅう芥類」，「不燃物類」および「その他」の6種類よりも詳細なごみの物理組成を調べている。その例として，東京23区の約20のごみの中間処理施設で年8回定期的に実施しているごみ性状調査時の組成分類を表2に，京都市で必要に応じて実施しているごみ細組成調査の中の紙の組成分類[4]を表3に示す。ただし，これらの都市が厚生省へ報告するごみの物理組成は，わざわざ環整第95号法の様式に合わせている。

表2, 3に示したような詳細な物理組成調査を実施しようとすると，調査対象ごみ量を環整第95号法より多く

表3　京都市における紙の細組成分類

大分類	中分類	小分類	
商品	新聞紙	読んだ後そのまま捨てた新聞紙	
		濡れたものを包むのに利用した新聞紙	
		乾きものを包むのに利用した新聞紙	
	書籍類	本	
		雑誌	
	その他の商品		
使い捨て商品	ちり紙		
	紙ふきん		
	紙おむつ		
	生理用品		
	水切り用紙袋		
	その他の使い捨て商品		
PRに使われた紙	折込広告		
	ダイレクトメール		
	PR紙		
	その他のPR（ラベル・説明書・カタログ）		
容器・包装材	紙パック（飲料水）	清酒	
		牛乳	
		コーヒー牛乳	
		その他乳製品（ココア・しるこ・ヨーグルト等）	
		果実・野菜飲料	
		スポーツ飲料	
	紙パック（調味料・スープ食品等）		
	飲料水のコンポジット缶		
	紙コップ・カップ		
	食料品の小箱（菓子等）		
	食料品の厚手の箱（折り詰め）		
	持ち帰り用の箱（餃子等）		
	食料品のダンボール箱		
	日用品の小箱	ティシュペーパー	
		洗顔用品（はみがき・石けん等）	
		薬・化粧品	
		洗濯石けん	
		たばこ・マッチ（箱の形状以外も含む）	
		その他の日用品（ゴキブリ取り器等）	
	日用品の厚紙の箱（衣料品等）		
	日用品のダンボール箱（家電製品等）		
	包装紙	デパート・スーパー	
		食料品店	
		日用品店等その他の店	
	茶の模造紙		
	手下げ紙袋	デパート・スーパー	
		その他の店（みやげ店等）	
	紙袋	デパート・スーパー	
		食料品店（パン）	
		日用品店等その他の店	
	食料品の紙袋（米，小麦粉等）		
	紙筒	家庭用ラップ・アルミホイル	
		トイレットペーパー	
事業所からの紙	伝票類		
	梱包材等		
	その他（医者カルテ）		
その他	個人間の手紙		
	子供関係の紙（答案・学校連絡・落書き・付録等）		
	レシート等		
	その他（障子紙等）		
その他の雑紙			

表4　廃棄物情報研究会が提案したごみの物理組成分類[4)]

大分類		概略分類		一般分類		環整第95号法の分類
100	紙類	110	新聞紙	111	新聞紙	紙・布類
		120	書籍・雑誌	121	書籍・雑誌	
		130	広告・チラシ・ダイレクトメール	131	広告・チラシ・ダイレクトメール	
		140	段ボール	141	段ボール	
		150	用紙	151	用紙	
		160	飲料用容器（アルミ無し）	161	アルコール飲料パック	
				162	牛乳パック	
				163	その他の飲料パック	
		170	その他の容器包装	171	食料用パック（アルミ無し）	
				172	飲料・食料用パック（アルミ付）	
				173	コップ・カップ	
				174	コンポジット缶	
				175	トレイ	
				176	箱	
				177	商品の紙袋	
				178	販売店の紙袋・包装紙	
				179	その他の容器包装	
		180	紙おむつ・ティッシュペーパー等使い捨て商品	181	紙おむつ・ティッシュペーパー等使い捨て商品	
		190	その他の紙	191	その他の紙	
200	繊維類	210	繊維類	211	繊維類	
300	プラスチック類 ゴム・皮革類	310	PET ボトル	311	飲料用 PET ボトル	ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類
				312	しょう油用 PET ボトル	
				313	飲料・しょう油用以外の PET ボトル	
		320	トレイ類	321	発泡スチロールトレイ	
				322	その他のトレイ	
		330	その他のプラスチック製容器包装	331	PET 以外のプラスチックボトル	
				332	食料品のパック・カップ	
				333	商品の袋（アルミ付）	
				334	商品の袋（アルミ無し）	
				335	販売店の袋	
				336	ラップ・ネット	
				337	緩衝剤	
				338	その他の容器包装・梱包材	
		340	容器包装以外のプラスチック類	341	容器包装以外のプラスチック類	
		350	ゴム・皮革類	351	ゴム・皮革類	
400	木・竹・草類	410	木・竹・草類	411	木・竹・草類のうち容器包装	木・竹・わら類
				412	その他の木・竹・草類	
500	ちゅう芥類	510	ちゅう芥類	511	ちゅう芥類	ちゅう芥類
600	金属類	610	スチール製容器	611	飲料用容器	不燃物類
				612	その他の容器	
		620	その他のスチール	621	その他のスチール	
		630	アルミ製容器	631	飲料用容器	
				632	その他の容器	
		640	その他のアルミ	641	その他のアルミ	
		650	その他の金属製容器	651	その他の金属製容器	
		660	その他の金属	661	電池	
				662	その他の金属	
700	ガラス類	710	無色のガラス容器（ほうけい酸ガラスを除く）	711	リターナブルびん（生きびん）	
				712	リターナブルびん（その他）	
				713	ワンウェイびん	
		720	茶色のガラス容器（ほうけい酸ガラスを除く）	721	リターナブルびん（生きびん）	
				722	リターナブルびん（その他）	
				723	ワンウェイびん	
		730	その他の色のガラス容器（ほうけい酸ガラス，乳白色ガラスを除く）	731	リターナブルびん（生きびん）	
				732	リターナブルびん（その他）	
				733	ワンウェイびん	
		740	その他のガラス類	741	ほうけい酸ガラス，乳白色ガラス容器	
				742	その他のガラス	
800	その他	810	その他の可燃物	811	その他の可燃物	その他
		820	その他の不燃物	821	その他の不燃物	

する必要があり，また，組成分類の所要時間が長くなる。したがって，ごみの物理組成調査に要する経費や労力が増加するので，すべての区市町村で詳細な調査を実施することはできない。また，区市町村によって，ごみの収集区分やごみの種類の名称が異なったり，分類項目の名称や範囲に微妙な違いがみられるので，ごみの物理組成調査結果を有効活用するには，異なった組成分類項目を並べ替えによって比較できるようにすることが重要となる。

東京都，京都市等の自治体の実務担当者や学識経験者が参加した廃棄物情報研究会が，このような条件に合うごみの物理組成分類を表4のように提案している[4]。この組成分類は，環整第95号法との整合性を保ちながら，東京都，京都市等における詳細なごみの物理組成調査経験が反映され，容器包装リサイクル法対象となる項目も入っている。このコード番号が付された組成分類項目をベースにすれば，各区市町村で行った組成分類項目の区分が明確になるので，測定値の相互比較が可能となり，定期的に実施されるごみの物理組成調査結果を一層活用できる。また，表4の組成分類項目には，必ずしも実施しなくてよいものもあり，区市町村は目的に合わせて必要な項目を取捨選択すればよい。

なお，組成分類項目が製品と素材の二つの観点から決められているこれまでの経緯から，表4の物理組成分類にも不合理な部分がある。たとえば，素材がプラスチックであるポリエステル製衣類は，プラスチックではなく繊維に分類されることや主成分がカルシウムである卵殻や貝殻は，その他の不燃物ではなく有機性廃棄物のちゅう芥類に分類されること等である。また，容器包装類は，ごみとなった場合にはその用途がわからないので明確には分類できない。さらに，容器包装リサイクル法対象物に識別マークが印刷されたとしても，組成分類時に識別マークを個々に確認する作業は事実上できない。したがって，組成分類項目の見直しは，今後とも継続していく必要がある。

3．ごみの物理組成調査結果の評価の留意点

構成比が小さい組成分類項目の数値も表示するので，ごみの物理組成調査結果は小数第1位まで示されている場合が多い。そのため，ごみの物理組成調査結果について，無意味な小数第1位での増減が論じられることがある。ごみの物理組成調査結果には大きな誤差要因があるので，数値はある程度の変動幅で解釈する必要がある。

第一の誤差要因は，代表性のあるごみの物理組成調査用試料の調製には限界があることであり，その典型例を表5に示す。東京23区の都市ごみ焼却施設においては，ごみピットから採取した約600 kgのごみを均一化し，四分法で約300 kgの調査用試料と約300 kgの廃棄試料に分けて，調査用試料についてごみの物理組成を調査しているが，表5は調査用試料と廃棄試料のごみの物理組成を調べた例である。

表5　四分法によって分割したごみ試料の物理組成測定値に生ずる誤差の例

組成分類項目	重量構成比（%）	
	調査用試料	廃棄試料
紙	33.4	35.2
厨芥	34.7	35.5
繊維	6.0	7.4
木草	10.8	10.7
その他可燃物	7.1	3.4
プラスチック	6.1	5.9
ゴム・皮革	0.3	0.1
鉄	0.7	0.4
非鉄	0.1	0.3
ガラス	0.7	1.0
その他不燃物	0.1	0.1

表6　物理組成調査の再現性の測定例

組成分類項目	重量構成比（%）		
	1回目	2回目	3回目
紙	39.0	38.8	38.1
厨芥	29.3	29.8	29.6
繊維	4.1	4.2	4.2
木草	13.5	11.9	12.1
その他可燃物	3.8	4.9	5.1
プラスチック	8.6	8.6	8.9
ゴム・皮革	0.1	0.0	0.1
鉄	0.7	0.7	0.7
非鉄	0.1	0.1	0.2
ガラス	0.8	1.0	1.0
その他不燃物	0.0	0.0	0.0

調査用試料と廃棄試料は均質になっているはずであるが，両方のごみの物理組成調査結果は必ずしも一致してはいない。これは，形状や材質が大きく異なるごみを完全に均質化すること事実上は不可能なためであり，この程度の誤差が調査結果に生じていることを認識しなければならない。

第二の誤差要因は，人がごみの外観から組成分類項目を判断するときのばらつきである。その例として，都市ごみ焼却施設のごみピットから採取した約300 kgのごみの物理組成を8人で繰り返して3回調べた結果を表6に示す。回数を重ねるとごみが細分化されるために，その他可燃物の重量構成比が高くなるが，大まかな組成項

目の分類でも結果に差がみられている。ただし，この第二の要因による誤差は，第一の要因に比べれば小さいと考えられる。

これらの誤差を小さくするには，組成調査のごみ採取量や採取回数を増やすことが有効であるが，労力や経費的に限度がある。そのため，実際にごみの物理組成調査結果を取り扱う際には，①結果の数値は有効数字2桁または1桁の概数で評価する。②結果の数値だけではなく他の情報と併せて評価する。③ごみの物理組成調査を継続的に実施して，数値の変化は数年間のトレンドで判断する。等の配慮が必要である。

4. おわりに

多くの区市町村が実施しているごみの物理組成調査の内容を一層充実させ，区市町村や関連する試験研究機関等の相互の連携によってごみの物理組成情報の共有化を図り，循環型社会形成に役立てていかなければならない。そのためには，環整第95号法を発展させる上で求められるデータの蓄積や議論が必要である。また，本稿では重量でのごみの物理組成調査方法について述べたが，容積でのごみの物理組成を的確に把握する方法や目視調査等の簡易法の検討も必要である。これらの役割の一部を廃棄物学会研究委員会廃棄物試験・検査法部会ごみ質サブ研究会が担いたいと考えている。

参考文献

1) 大迫政浩，小野雄策，谷川 昇，山田正人：廃棄物試験・検査法の現状と将来展望，廃棄物学会誌，Vol. 11, No. 6, pp. 396－404 (2000)
2) 東京市町村自治調査会：多摩地域ごみ実態調査平成10年度版，p. 16 (1999)
3) 谷川 昇，若林真盛，根本 弘，野口孝司：ごみ質調査方法の検討，第11回全国都市清掃研究発表会講演論文集，pp. 69－71 (1990)
4) 日本環境衛生センター：Fact Book 廃棄物基本データ集1997，pp. 39－44 (1997)

A Proposal to the Testing Method for Physical Composition of Waste

Noboru Tanikawa*

* Laboratory of Waste Management, Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmental Protection
(2 cho-me, Aomi, Koto-ku, Tokyo, 135－0064 Japan)

Abstract

In investigating the physical composition of waste, the classification of sampled waste should be done on a wet base and detailed classification of items should be established to make the results useful. A practical proposal for the purpose is presented.

There are some errors in the results of physical composition of waste because of sampling, preparing, and classifying of the waste. Therefore, the results should be evaluated as approximate figures considering other data and their variation trend during the period of several years.

Key words: waste, physical composition, classification, wet base, dry base

【特　集：廃棄物管理と試験・検査法－研究委員会研究活動（廃棄物試験・検査法）－】

ごみの三成分，発熱量および元素組成について

渡　辺　信　久*

【要　旨】ごみの三成分（水分，灰分，可燃分），発熱量および元素組成の計測方法について概説した。まず，用語の定義を明らかにし，整理を行った。量と割合の区別をつけるために，用語に単位を付け加えることが必要である。本稿で紹介した項目別の三成分（%）および発熱量（kcal/kg）の経験値を用いると，ごみの物理組成データから，全体の三成分（%）と発熱量（kcal/kg）を推定することができる。水素・炭素の分析方法は既に確立されているが，塩素・硫黄の分析方法については，計測法により結果が異なるという問題があり，検討中である。

キーワード：ごみ質，発熱量，元素分析，塩素，硫黄

1. はじめに

ごみの三成分，発熱量および元素組成の計測は，「燃焼したときの灰，熱，排ガス（量および質）」を評価する方法として発展してきた。したがって，燃料分析・化学分析分野の方法を取り入れている。この様式の計測は，単に燃焼のみならず，たとえば埋め立てやコンポストあるいはリサイクル資源としてのごみの性状把握にも有用な情報を与えると考えられる。

わが国では，1950年代からごみの性状把握のための調査が，主として自治体によって独自に行われてきた。物理組成項目のみならず，単位操作（選別，乾燥，元素分析等）でも，同じ方法が用いられてきたわけではない。試験・検査法研究部会は，それらの比較と，合理的な分析方法の提案を行うことを目的としている。

本稿では，これまでの報告書[1-3]を元に，まず，用語の定義を明らかにし，三成分，発熱量の計測方法とともに既往データの経験値を紹介し，元素組成分析については原理の説明とごみ質分析特有の問題点を指摘するものである。

原稿受付　2000. 10. 16
* 大阪市立環境科学研究所
連絡先：〒543－0026　大阪市天王寺区東上町8－34

2. 用語と定義

たとえば，「厨芥類由来の水分は75 gである」と「厨芥類の水分は75%であった」という表現はともに使用されているが，前者は水の量を表し，後者は水の量の厨芥類の重量に対する割合を表している。このように，「量」と「割合」の用語が混同されているので，その整理を図る必要がある。その一覧を表1に示す。曖昧さをなくすためには，(1)用語に単位を付す，(2)「量」，「率」「単位重量あたりの」などの注釈的な用語を付す等の改善が考えられる。しかし，用語の厳密さを追求するあまり，文字数の増加を招き，煩雑になるので，現行の用語に単位を付け加えて表現することが現実的と考える。

英語による表記も，同時に，表1に記述した。英語表記でも，「量」，「割合」の曖昧さがある。英語表記で注意を促したいのは，「可燃分」(combustible (volatile) matter) と「可燃物」(combustilbes) の区別である。また，「三成分」(three components) は，日本独自の表現方法であり，proximate analysis の用語のほうが適切であろう。

ごみマトリックスの概念を図1に示した。物理組成項目別に分割するのと同時に灰分，水分および可燃分（三成分）別に分割することができる。水分は，風乾操作で除去される水分と残留する水分（しばしば，無視できる量として取り扱われる）に分けられる。可燃物も灰分を含んでおり，「ごみの灰分」は，不燃物の重量と可燃物

表1　ごみ質分析に関わる用語の整理

	通例用いられる用語	厳密に表現する場合に適切な表現		単　位	意　　味
和	英	和	英		
三成分	three components	工業分析	proximate analysis	%	水分, 灰分, 可燃分の百分率割合
水分	moisture (water)	水分量	moisture (water)	g	水の量を表す
		水分率	moisture (water) content (percentage)	%	ある量に対する水の量の百分率
灰分	ash, residue	灰分量	ash	g	灰の量を表す
		灰分率	ash content (percentage)	%	ある量に対する灰の量の百分率
可燃分	combustible (volatile) matter	可燃分量	combustible (volatile) matter	g	可燃分の量を表す
		可燃分率	combustible (volatile) matter content (percentage)	%	ある量に対する可燃分の量の百分率
物理組成	physical composition (analysis)				
物理組成項目	physical component				
可燃物	combustibles				
不燃物	incombustibles				
発熱量	calory, calorific value, heat, heat value	熱量, エネルギー	heat (calory, energy)	kJ, kcal	熱あるいはエネルギーの量を表す。
		単位重量あたりの発熱量	heat (calorific) value	kJ/kg, kcal/kg	単位重量あたりの熱の量を表す。
高位発熱量	high heat (calory), Ho*	単位重量あたりの高位発熱量	total (high, gross) heat value	kJ/kg, kcal/kg	単位重量あたりの高位(総) 発熱量
低位発熱量	low heat (calory), Hu*	単位重量あたりの低位発熱量	available (low, net) heat value	kJ/kg, kcal/kg	単位重量あたりの高位(総) 発熱量から水分蒸発に伴う潜熱を差し引いた値
元素組成 (元素分析)	elemental composition (analysis)	元素組成 (元素分析)	elemental (ultimate) composition (analysis)	%, g/kg	有機元素 (水素・炭素・硫黄・窒素・塩素・酸素) の含有率, 他の元素を指すこともある
水素分	hydrogen	水素分量 水素分率	hydrogen	g, mol	水素の量を表す (水由来は除く)
			hydrogen content (percentage)	g/kg, mol/kg, %	ある量に対する水素の量の百分率

＊高位発熱量: Ho, 低位発熱量: Hu の語源は, それぞれ oberer Hitzwert, unterer Hitzwert (独語) である。

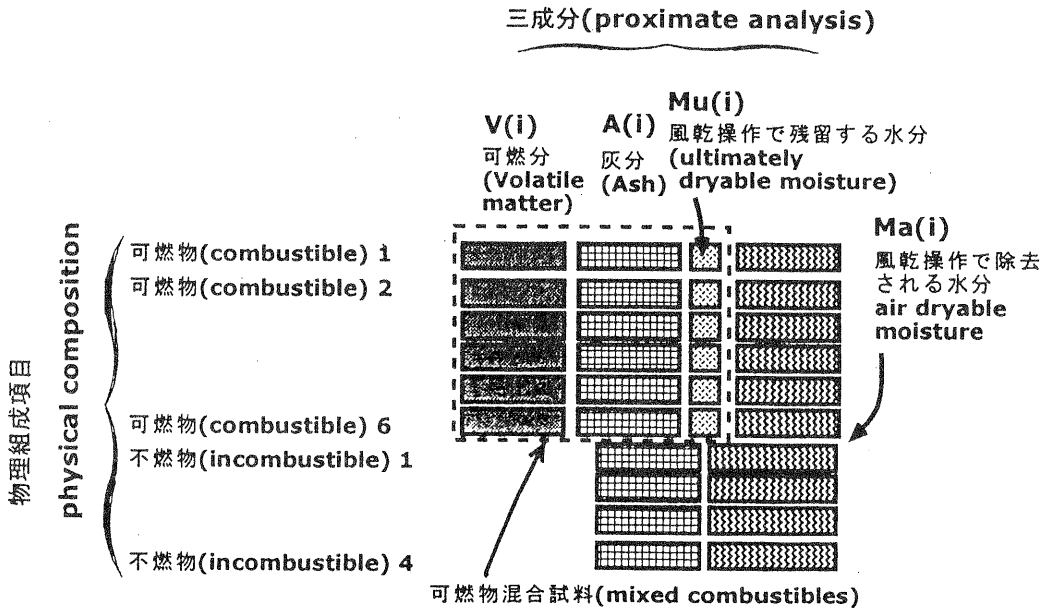


図1　ごみマトリックスの概念

由来の灰分の重量を和である。

「乾ベース／湿ベース」の違いは，ごみの物理組成毎の選別を行う前に乾燥するのか，あるいは，乾燥させずに選別するのかの違いであるが，報告値の意味は異なる。風乾操作で除去される水分（air dryable moisture）を取り除いた後の各物理組成項目の重量比（総和は100％になる）を報告したものが，「乾ベース」である。一方，水分を含んだ状態で，各物理組成項目の重量比を報告するのが「湿ベース」である。

3．三　成　分

水分（moisture）は，採取したごみ試料を乾燥させ，その前後の重量を計測することで得られる。乾ベース分析では，ごみ全体での水分がわかるのみであるが，湿ベース分析では，各物理組成項目毎の水分を知ることができる。

なお，乾燥工程は80～85℃で行われている[1]ので，厳密には風乾水分（湿分）を求めていることになる。80～85℃で乾燥する理由は，プラスチック類の変形・溶着を避けるためである。

灰分（ash）は，可燃物（combustibles）中の灰分量と不燃物量の和を，全重量で除した百分率である。可燃物中の灰分率は，試料を破砕後，電気炉で800℃（もしくは600℃）で熱灼してその減量を秤量して求める。

可燃分（combustible (volatile) matter）は，100－水分(％)－灰分(％)で求められ，これら三成分の総和は，常に100になる。

ごみの三成分は，分析の度に計測するものであるが，各物理組成項目毎の湿ベース水分，乾ベース水分，乾ベース灰分（これらの定義を表2に説明する）については経験的な値が得られており，その一覧を，表3に示す[3]。乾ベース灰分は，湿ベース分析より乾ベース分析のほうが，高めの値になっている。これは，湿ベース分析では集合状態にある土砂類が，乾燥によってバラバラになり，他の項目に付着するためであると考えられる。

これらの経験値は，ごみの物理組成データから三成分を推定するのに利用できる。計算例1の場合，水分40％，乾ベース不燃物が10％（湿ごみ1,000 g中に400 gの水分と60 g（＝(1,000－400)×0.1）の不燃物が存在する）という情報に加え，可燃物由来の灰分（たとえば紙類では16.8 g）を足し合わせると，灰分の合計は148.5 g（14.9％）になる。なお，計算例1では，乾ベースの物理組成データをもとにしたので，三成分に関する経験値は，表3の乾ベース分析に基づくものを適用した。湿ベース物理組成データから同様の推定を行う際には，湿ベース分析に基づくものを適用するほうがよいであろう。

湿ベース水分の経験値は，湿ベースでのごみ組成データから三成分を推定するのに利用できる。なお，表3中の湿ベース水分は，家庭ごみ調査をもとに得られたものであり，厨芥類からの他の項目への水分の移行に強く影響されるので，家庭ごみ以外のごみに適用するときは注意が必要である。

表2　項目別経験値の意味

項目別経験値	数式による表現	図による表現
項目別湿ベース水分（％）	$\frac{Ma(i)}{V(i)+A(i)+Mu(i)+Ma(i)} \times 100$	
項目別乾ベース灰分（％）	$\frac{V(i)}{V(i)+A(i)+Mu(i)} \times 100$	
項目別乾ベース水分（％）	$\frac{Mu(i)}{V(i)+A(i)+Mu(i)} \times 100$	
項目別乾ベース発熱量（kcal/kg）	試料：V(i)＋A(i)＋Mu(i)	単位重量あたり発熱量
項目別乾ベース炭素・水素（％）	試料：V(i)＋A(i)＋Mu(i)	単位重量あたり炭素・水素分

V(i), A(i), Mu(i), Ma(i) の定義については，図1を参照

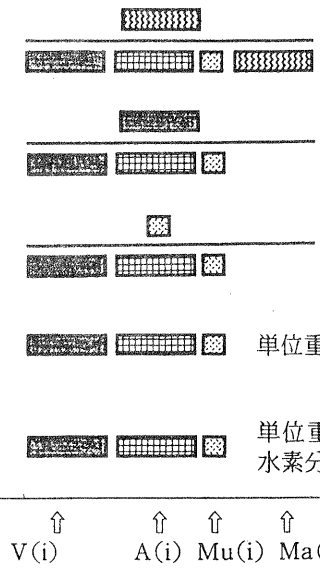


表3　項目別経験値

		選別方法	紙類	厨芥類	木・草類	繊維類	プラスチック類・(ゴム・皮革)*	ゴム・皮革	5 mm フルイ下
湿ベース	水　分（%）	湿ベース	15.69	75.38	42.63	16.14	16.25	8.57	
風乾ベース	灰　分（%）	湿ベース	9.70	14.72	13.40	2.57	4.55	12.29	
		乾ベース	11.23	18.50	6.59	6.90	9.46		41.82
	水　分（%）	乾ベース	4.41	7.54	5.39	3.25	1.54		3.98
	発熱量（kcal/kg）	湿ベース	4,074	4,270	4,188	4,875	8,127	6,179	
		乾ベース	3,949	3,982	4,347	4,709	7,641		2,931
	炭素分（%）	湿ベース	40.4	41.0	41.5	47.9	68.9	54.8	
	水素分（%）	湿ベース	5.88	5.81	5.40	6.27	9.81	6.91	

＊湿ベース選別では「プラスチック類」，乾ベース選別では「プラスチック類・ゴム・皮革」
1985 年から 1999 年までのデータの平均値

4．発　熱　量

各項目別の可燃物試料もしくは可燃物混合試料の発熱量は，カロリーメーターで実測する。

各物理組成項目別の発熱量（高位発熱量）の実測値については，経験的な値が得られている（表3）[3]。湿ベース分析と乾ベース分析で，灰分に違いが見られるのに呼応して，発熱量にもわずかに差異が見られる。

水素分・炭素分の経験値も同様に得られている。各項目別の発熱量と併せて，水素分の経験値を用いると，物理組成データから低位発熱量の推定を行うことができる。表4の計算例1の場合，高位発熱量 2,534 kcal/kg，低位発熱量 2,093 kcal/kg を得た。なお，水分の計算を厳密に行う（風乾試料中の水分を加味する）と，水分量が，400 g から 423 g になるが，水素分由来の水分が 311 g であることを鑑みると，風乾試料中水分は無視できる誤差と考えてもよい。

5．元　素　分　析

5．1　水素・炭素

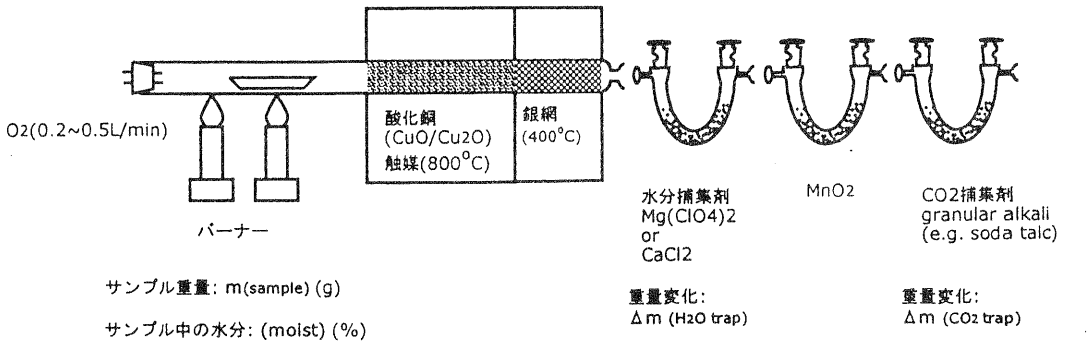
水素・炭素の計測は，「水素と炭素は，燃やすと水と二酸化炭素に変化する」という原理に基づくものである。方法の一例を図2に示す。ここで注意を要するのは，風乾試料が持ち込む試料中水分により，水素分の計測値が過大見積もりされる可能性があることである。図2中の

表4　計算例：乾ベース物理組成からの発熱量・三成分の推定

	物理組成	ごみ1kg中の重量（g）	灰分量の推定 灰分率（%）	灰分量（g）	高位発熱量の推定 単位重量あたりの発熱量（kcal/kg）	発熱量（kcal）	水分量の推定 水素分由来 水素分率（%）	水素量（g）	予め存在する水 水分率（%）	水分量（g）
水分（%）	*40*	400	0	0	0	0	0	0	100	400
乾ベース（%）										
紙　類	*25*	150	**11.23**	16.8	**3,949**	592	**5.88**	8.82	4.41	6.62
厨芥類	*15*	90	**18.50**	16.6	**3,982**	358	**5.81**	5.23	7.54	6.79
木・草類	*10*	60	**6.59**	4.0	**4,347**	261	**5.40**	3.24	5.39	3.23
繊維類	*5*	30	**6.90**	2.1	**4,709**	141	**6.27**	1.88	3.25	0.98
プラスチック類・ゴム・皮革*	*20*	120	**9.46**	11.3	**7,641**	917	**9.81**	11.78	1.54	1.85
雑物（5 mm フルイ下）	*15*	90	**41.82**	37.6	**2,931**	264	**4.00***	3.60	3.98	3.58
不燃物	*10*	60	**100**	60.0	**0**	0	**0**	0	0	0
合　計		1,000		148 (A)		2,534 (B)		34.6 ↓×(18/2) 311 (C) ←水分量(g)		423 (D)

灰分率＝(A)/10	14.8
高位発熱量＝(B)	2,534
低値発熱量＝(B)－0.6 ((C)＋(D))	2,093

＊雑物（5 mm フルイ下）の水素分率の経験値は得られていないが，発熱量から推測して，4％と設定した
斜体数字は，物理組成実測値
太字数字は，項目別経験値（表3）



$$H\ (mg/g) = (\Delta m\ (H_2O\ trap) - \frac{(moist)}{100}\ m(sample)) \times (2/18) / m(sample)$$

$$C\ (mg/g) = (\Delta m\ (CO_2\ trap)) \times (12/44) / m(sample)$$

図2　水素・炭素の計測法の一例

計算式は，試料中水分を考慮したものである。

5. 2　塩素・硫黄

塩素・硫黄の計測は，「燃やすと塩化水素（HCl）と硫黄酸化物（SOx）に変化する」という原理に基づくものであり，燃焼ガスを吸収液に溶解後，吸収液中の Cl^- と SO_4^{2-} を定量して元の試料中の塩素分と硫黄分を求めようというものである。燃焼分解—ガス吸収の方法として，ボンブ法（図3(a)）と燃焼管法（図3(b)）の2種類が廃棄物固形化燃料中の全塩素分試験方法（JIS Z 7302－6）に採用された。

しかし，2種類の方法で計測値が異なるという問題がある[3)]。その原因は，ナトリウム（Na）やカルシウム（Ca）などのアルカリ（土類）金属が共存すると，塩素，硫黄は，NaCl や $CaSO_4$ を生成して灰中に残留し，その全量がガス中に移行しないからである。ボンブ法の場合，灰を吸収液中に洗いこむので，燃焼管法より高めの値を示すことが多い。したがって，燃焼管法での計測値は，「燃焼性」もしくは「揮発性」と表現されることが多い。

一方，大過剰のアルカリ（土類）金属を，試料と混合させて燃焼させると，HCl や SOx を生成するよりも，金属の塩化物や硫酸塩を生成して，灰中にこれらがとどまるので，この性質を利用する方法（エシュカ法，JIS Z 7302－6の参考）もある（図3(c)）。

いずれにしても，水素・炭素の分析に比べ，塩素，硫黄の分析は検討課題が多い。ちなみに，この方法のもとになった燃料分析の分野では，硫黄を蛍光X線分析方法で定量するのが常法となりつつあり，塩素分析についても，近い将来この方法が視野に入ると考えられる。

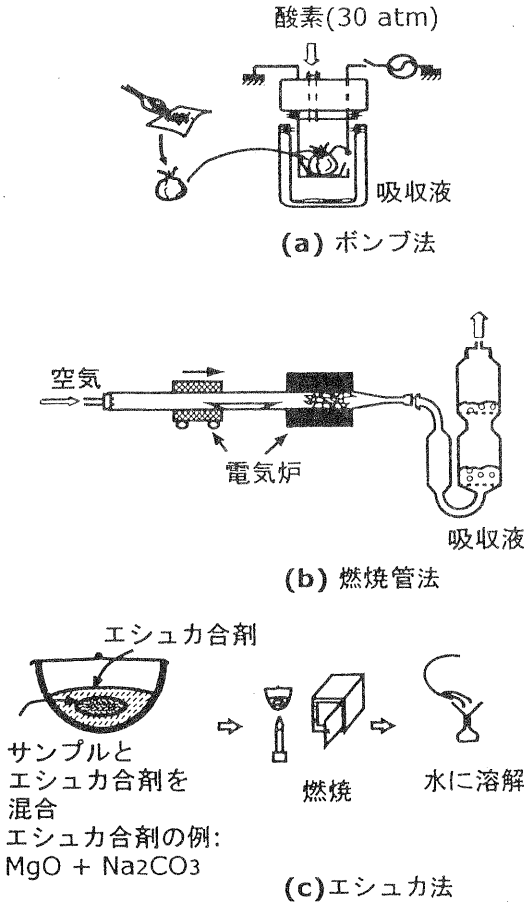


図3　塩素・硫黄の計測法

5. 3　窒　素

ケルダール法（硫酸分解で窒素分をアンモニアに変換し，アンモニア量を定量する）と CHN コーダー（燃焼させて，ガス中の NO を計測する）による方法がある。

ごみ試料について，原理が異なるこれらの方法で，計測値が一致することが確かめられている[4]。

6. おわりに

本稿では，ごみ分析の概観を示した。個々の単位操作の検討が，試験・検査法研究部会のベースであるが，「何を調べているのか」の全体像の明示と，合理的な方法の提案こそが，期待される成果であると考える。未だ，未解決の問題があることを白状しつつも，本研究部会の活動が，廃棄物に関わる事象の解明の一助になり得るように努力を続けたい。

参考文献

1) 廃棄物学会 試験・検査法研究部会 1996年度報告書
2) 廃棄物学会 試験・検査法研究部会 1998年度報告書
3) 廃棄物学会 試験・検査法研究部会 1999年度報告書
4) 及川 智，三森啓介，谷川 昇：ごみの化学組成分析の効率化についての検討，平成10年度東京都清掃研究所研究報告第28号，pp. 70－75 (1999)

Proximate Analysis, Heat Measurement and Elemental Analysis of Waste

Nobuhisa Watanabe*

* Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences
(8－34 Tohjoh-cho, Ten-nohji-ku, Osaka-city, 543－0026 Japan)

Abstract

The general aspect of waste composition analysis consisting of proximate analysis, heat measurement and elemental analysis has been presented. The definition and usage of terms was clarified, accordingly all terms should be combined with their respective units. Empirical data of proximate composition (%) and heat value (kcal/kg) for individual constituents were introduced, which made it possible to predict waste property from a simple physical composition. The method of analysis of hydrogen and carbon is well established, however, determination of chlorine and sulfur in the waste matrix is under current research, as the analytical result can differ depending on the employed method.

Key words: Waste composition, heat measurement, elemental analysis, chlorine, sulfur

【特　集：廃棄物管理と試験・検査法－研究委員会研究活動（廃棄物試験・検査法）－】

廃棄物の化学性状評価における試験方法

貴田晶子*

【要　旨】廃棄物の化学性状に関する情報は廃棄物管理の基礎資料となる。“どれだけ含まれるか”と“どれだけ環境影響があるか”の答は，試験・検査の手法の違いによって異なってくる。本報では廃棄物の化学性状として重金属を中心に試験・検査方法をまとめた。また試料採取時の問題や廃棄物の不均一性からくるばらつき，環境庁告示第13号の溶出試験の精度（全国調査）および部会活動における共通試料の分析結果の一部として試験方法によって異なるデータの例等を示した。

キーワード：廃棄物，化学分析，溶出試験，含有量試験，重金属

1．はじめに

廃棄物の化学的特性化（characterization）は廃棄物の発生から処分にいたる過程のすべてにおいて様々の目的のもとに行われている。化学性状に関する試験・検査法のカバーする分野の主な視点は次のようなものである。

(1) 発生源（廃棄物を発生する事業所および中間処理施設）の廃棄物の特性化
(2) 廃棄物最終処分場の管理
(3) 廃棄物の有効利用における評価

循環型社会形成に向けて最近では(3)の必要性が急務となっている。当化学性状サブ研究会では，廃棄物管理において基本となる化学データが得られる過程の様々な問題を扱うこととしている。データに内在する廃棄物自身の化学特性を評価するにはかなりのあいまいさ（試料そのもの，試験法に内在するもの，データの評価等）を含んでおり，化学分析を行う現場の観点からは次のような課題がある。

○廃棄物の化学的性質を知る：何がどの程度含まれているのか。
○廃棄物の環境影響を知る
○データの信頼性
○データの精度（ばらつき）

試験検査法部会化学性状サブ研究会の立ち上げ時には，特に特別管理産業廃棄物の中の特定有害産業廃棄物の判定に用いられる環境庁告示第13号（以下告示13号と略す）に関連した溶出試験を第1の課題としてとらえてきた。本稿ではこれまでの活動を中心にテーマ毎にまとめる[1-4]とともに，現在部会員が行っている共通試料による共同分析の結果の一部を報告する。

本題に入る前に，廃棄物の化学分析をめぐる背景の変化や課題について触れておきたい。昨今ダイオキシン法やPRTR法の制定に伴って化学物質管理全体を見据えて考えることが必要になってきている。化学物質の分析需要が増加したのは次のような背景がある。

(1) 分析対象物質の増加
(2) 対象物質の定量における微量性
(3) 機器分析の向上
(4) 多成分同時分析

第1の分析対象物質については，1999年に化学物質管理のためのPRTR法が制定され，第1種指定物質として354物質が指定されたことに象徴される。環境への排出量が多い物質はモニタリングされることが予想されるが，すべての物質の分析法が決まっているわけではなく，分析法の確立には長期間必要となる。有害大気汚染物質として指定されている234物質のうち22物質が緊急性の高い優先的物質として現在モニタリング調査が行われているが，それらの項目は，物質の有害性が高いことはもちろんのこと，確立した試験法があるか，多成分同時測定可能な機器があるといった現実的な点を考慮し

原稿受付　2000. 10. 23
* 広島県保健環境センター
連絡先：〒734－0007　広島市南区皆実町1－6－29

て決められている。昭和49年から環境庁が取り組んできた化学物質の調査は，①物質の選定，②分析法の確立，③環境調査，④精密調査（検出率の高い物質）という流れで進められてきている。平成11年度現在775物質が環境調査されている。

第2および第3の点については，分析機器の向上が微量有害物質の新たな規制に大きく寄与したことはいうまでもない。感度や分離能の向上なくしてはダイオキシン類の規制は実効的に行われることはできなかったであろうし，また処理基準0.5 mg/kgが定められたPCB廃油の分析についても同様である。多成分同時分析が可能な分析機器は，規制・未規制を問わず化学物質の分析を可能にし，測定範囲もppmレベルからppbレベル，pptレベルへと分析の微量化を進めた。このような背景の中で，高感度で多成分同時分析を中心とした化学分析からは多くのデータが得られるが故に，そのデータのもつ意味と適用範囲が十分議論される必要がある。分析機器へ導入する前段階の処理が重要であり，マトリックスの少ない水試料に適用できる分析法が廃棄物試料にそのまま適用できるわけではない。環境庁の化学物質調査においても，水試料に適用できる分析法のすべてが底質や生物試料に適用可能ではないために，環境調査されていない媒体がある。廃棄物試料へ適用するには数段階の検討が必要と思われる。底質や生物試料は似通ったマトリックスとほぼ同レベルの物質濃度があるのに対して，廃棄物試料ではマトリックスが多様で物質濃度範囲が大きい特徴がある。

廃棄物の分析現場からみてデータの解釈をする上で次のような問題や留意点があげられる。

(1) 含有量分析と溶出量分析の評価

特定有害廃棄物の判定に用いられる告示第13号の溶出試験は廃棄物の環境影響量として雨水から水系への曝露シナリオを考えて設定されている。この場合，無機性物質に対しては水溶性かどうかの判断は溶出試験により推定可能と思われるが（pHの影響は考慮すべきであるが），有機化学物質についてはどうであろうか。有機化合物は一般に水には溶けにくく有機溶媒や油に溶けやすいが，規制物質の中で揮発性有機化合物（VOC）はそれ自身が溶剤として多量に使用され，トリクロロエチレンやテトラクロロエチレンによる地下水汚染は全国的に多く報告されている。液体として存在するVOCsの環境影響を溶出試験によって有害廃棄物の判断できるかどうかについて疑問もある。

(2) 試料のばらつきと精度

廃棄物は製品ではないので品質管理されることがなく，“捨てられるもの”であるから，その性質は日によって異なる。その一例を図1に示す。一般廃棄物焼却灰（准連続式焼却炉）の試料をいつどこで採取したか（朝と昼に炉内から水封前に採取したものと灰ピットから採取したもの）かによって灰中の鉛濃度が変わることを示している。飛灰は比較的一定しているが，底灰のばらつきは極めて大きい。製造業から排出される産業廃棄物では原料の搬入先が変わることによって，あるいは混合物として排出される場合など，廃棄物の化学性状は異なってくる。

(3) 分析対象物質の濃度が低濃度から高濃度まで広範囲

(4) 定量操作や機器分析における妨害物質の問題

(5) 溶出試験の操作上の問題

(3)～(5)については，分析方法と試料としての廃棄物のマトリックスに関連する問題である。試験・検査法と廃棄物廃棄物分野における化学物質の分析は，環境水，環境大気といった媒体中の低濃度の物質測定から，発生源媒体（ガス，排水，浸出水，廃棄物）中の高濃度の物質測定，あるいは高濃度の妨害物質を含んだ試料中の微量物質測定をカバーしなければならない。機器分析にお

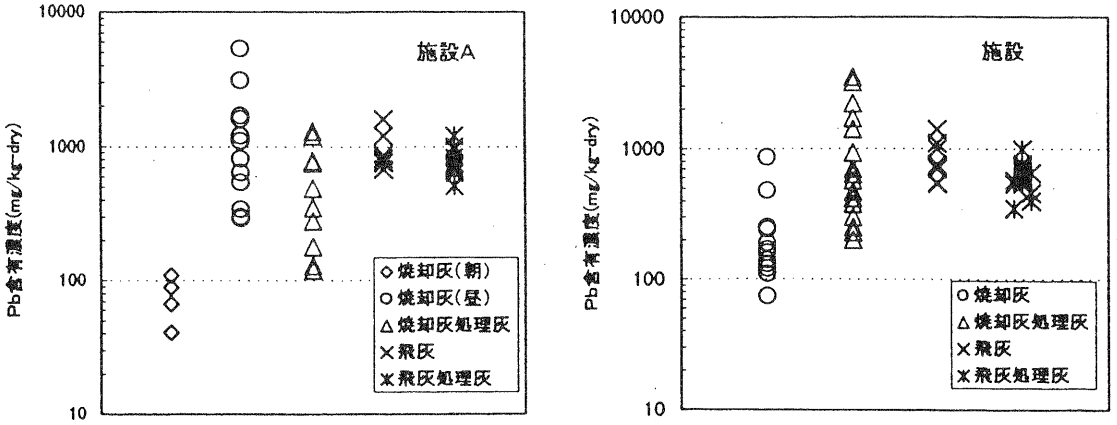


図1 同一施設で異なる日に採取した焼却灰の鉛含有量のばらつき

いて，機器の管理が重要であるのは当然であるが，特に廃棄物の分析では予想しない妨害物質が機器を汚染することがある。また試料の保存時に高濃度試料が低濃度試料を汚染する場合（特に VOCs）もある。

分析化学の分野において，廃棄物という対象はない。たとえば環境試料では水質，大気質，土壌等であり，食品試料，生体試料という対象物がある。廃棄物はこれらすべてを含んでいる。カバーしなければならない試料の種類の多さも廃棄物分析の特徴といえる。一般廃棄物ではごみ組成とともに化学的な組成も重要になると思われる。プラスチック，台所ごみ，紙類，粗大ごみなど様々な形態とマトリックスをもつ対象物に対する分析方法は，その目的と対象物質に応じて多彩なバリエーションとなる。

このような背景の中で，廃棄物の適正管理を目的として，化学分析の需要は高まる一方であり部会の抱えるテーマも大きいが，部会活動としては地道に一歩ずつ進めざるをえず，第1段階として無機化合物を対象とし，含有試験と溶出試験の標準化をめざしている。本稿では無機化合物を中心に述べる。

2．廃棄物管理における廃棄物の特性化と試験方法について（発生源（廃棄物を発生する事業所および中間処理施設）の廃棄物の特性化）

1997年の廃棄物学会研究発表会の小集会において議論し，報告書[2]にまとめているので詳細はこれを参考にされたい。ここでは簡単にまとめる。

酒井[4]は有害廃棄物管理の立場から，尾崎[5]は有効利用の立場から，大迫[6]は最終処分場管理の立場から溶出試験の意義を述べている。

酒井は欧州における有害廃棄物の特性化に関する活発な動きを紹介し，曝露条件の多様性に対応する各国の試験方法の考え方を総括した。また，わが国の有効利用時の安全性評価となっている試験方法について，粒状物（通常の廃棄物）と成型物について考慮すべきであることを提案している。

尾崎は土木分野において下水汚泥溶融スラグ（ヒ素やセレンの溶出量が多い）の有効利用の安全性評価にあたり種々の試験を行った結果，溶出量の多い元素についてより安全側で評価するために炭酸ガス飽和水による曝露を考慮した方法を採用することを薦めている。

大迫は廃棄物が最終的に環境に接触する場（最終処分場）を廃棄物の流れ全体として管理しなければならないことを強調し，マルチバリアシステムの各段階における，評価基準および評価手法（溶出試験を含む）について述べている。試験・検査法は評価の考え方と密接に関連しており，試験検査法をいかに利用してゆくかについて，この特集においてその考え方がまとめられている。

1997年度には各国の溶出試験方法に関する情報と廃棄物の化学性状に関連した溶出試験の文献（1996年まで）約200件をリストアップし[2]，レビューした[3]。今後も継続する予定である。

3．含有量の試験方法とその評価・留意点

化学性状（含有量・溶出量）の試験方法をまとめて表1に，日本の公定法に採用されている試験方法を表2に示す。含有量試験は厳密には全分析であるが，酸分解（酸加熱）も採用されている。

含有量は“どれだけ含まれているか”の解であり，製品製造においては基本となる情報である。一般的には環境影響量とは区別されるが，極限状態においては，環境影響が全くないわけではない。Laperche ら[7]は，リン酸鉛を土壌として無リン状態で生物を生育させたとき，不溶性と考えられているリン酸鉛が溶解し，リンが植物（根）に取り込まれたことを報告している。Bioavailable という観点からすれば不溶性の化合物といえども環境（植物）影響があることを示した例である。

蛍光X線分析を中心とした固体の非破壊分析手法は，機器が高価であり，通常分析として用いられてはいないが，産業廃棄物への適用が検討されはじめている。これらの方法は標準試料の保証値を提供するのに通常用いられている。標準試料は全分析値の保証値が示されているが，アメリカでは TCLP 法の保証値のある標準試料もある。日本では廃棄物関連の標準試料は現在作成中である。西川ら[8]の報告にあるように，廃棄物を含む（あるいは影響を受けた）土壌を「埋立地土壌」として標準試料化されつつある。分析値が少ないために“標準試料”と認定されてはいないが参考値が示されている。

固体の非破壊分析以外の全分析では溶液化が必要であるが，アルカリ溶融（炭酸塩やホウ酸リチウムによる）とフッ化水素酸（HF）のどちらを選ぶのは元素による。Si，B，Sb のように HF の共存下で揮散の可能性がある元素は，アルカリ溶融を採用しなければならない。いずれも試料の粉砕・均一化の操作が必要である。特にアルカリ溶融では少量（0.1 ～ 0.5 g）を用いるのでこの操作は不可欠である。白金るつぼを使用する際，前処理として有機物を焼却する必要も生じるが，元素の揮散に留意しなくてはならない。粉砕・均一化の過程で異物の生じる場合がある。土壌試料では木の根や砂礫は異物として2 mm のふるいで除くが，廃棄物試料は異物を除いて

表1　化学性状の試験方法

含有 / 溶出	分析 / 前処理の種類		分析方法
含　有	全 分 析	非破壊分析	荷電粒子誘起 X 線分析（PIXE）
			蛍光 X 線分析（XRF）
			中性子放射化分析（NAA）
		湿式分解法	アルカリ溶融（炭酸系，ホウ酸系）
			フッ化水素酸＋鉱酸分解
（含　有）	酸 分 解 （酸加熱）	王水分解 硫酸・硝酸分解 硝酸・過塩素酸分解 硝酸・過酸化水素分解 硝酸分解	吸光光度法 原子吸光法 ICP 発光分光分析 ICP 質量分析
最大溶出	アベイラビリティ試験		
溶　出	酸 抽 出	硝酸 酢酸 塩酸 炭酸（炭酸ガス飽和） 硫酸	
	pH 設定抽出		
	アルカリ抽出	水酸化ナトリウム 水酸化カルシウム	
	逐次抽出	各種溶媒	
	水 抽 出	イオン交換水	

表2　日本の公定法における分析方法

試験の種類	含有 / 溶出	分析 / 前処理の方法	対象項目
底質調査方法	含　有	王水分解 硫酸・硝酸 アルカリ溶融 硫酸・硝酸・過マンガン酸カリ	Cd, Pb As Cr Hg
農用地汚染土壌に係る試験方法	溶　出	1 N 塩酸 0.1 N 塩酸	As Cd, Cu

もよいであろうか。われわれの行った一般廃棄物焼却灰試料の5 mmのふるいの上下の重量を測った例で，5 mm以上の割合が2/3という場合もあった。5 mm以上を異物として除いた場合，除去した部分が2/3ということになる。最終処分されるのは全部に対して，1/3の試料によって焼却灰の代表値を表されるであろうか。一般廃棄物は特殊な例であるかもしれないが，試料中の異物の取り扱いには注意を要する。

日本の環境行政において採用されている含有量試験の公定法として「底質試験法」がある。この方法はクロム以外のカドミウム，鉛，ヒ素に対して酸分解を用いており，全分析とは異なる。底質汚染では，人工的汚染量を評価する観点から，自然物である岩石成分（酸分解により溶解しない）は除き，酸分解されるものを対象としている。ただし，クロムについては酸化クロムが酸溶解しないために全分析法のアルカリ溶融を採用している。「底質調査法」は環境関係では日本で唯一の含有量試験であり，廃棄物にも適用されることが多い。

後述するように全分析に対する酸分解の割合は試料により，また元素により異なる。石炭灰，溶融スラグ，エコセメントといったケイ酸を多く含む試料では一般廃棄物焼却飛灰のような水溶解物質を多く含む試料に比べ，酸分解値の全分析値に対する割合は，アルミニウム，チタン，亜鉛，マグネシウム等多くの元素についてかなり低い。

環境試料に対しては酸分解による含有量でも評価ができるが，廃棄物の場合は両方法を区別する必要がある。特に廃棄物の二次製品の有効利用が重要になっている現在，製品としての含有量は全分析が必要といえる。

4．溶出試験方法と評価・留意点

有害廃棄物に係る溶出毒性についての各国の試験方法については，酒井ら[9]，金子[10]，水谷[11]の論文に詳しい。水谷は有効利用基準およびその評価方法についてもまとめているのでそれを参照されたい。

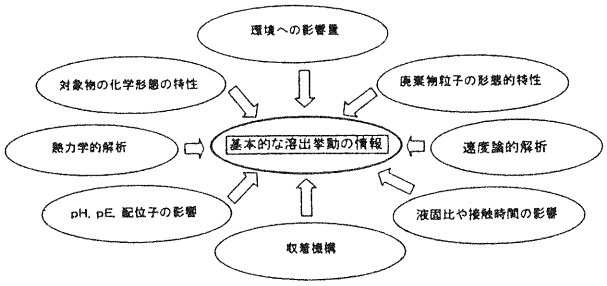


図2　廃棄物からの有害物質の溶出挙動に影響する因子[12)]

溶出試験によって環境影響をみようとする場合，規制試験と化学性状を調べる研究的な試験方法を区別しなくてはならない。現在わが国ではこのようなプロトコルがなく，溶出データの評価が混乱している場合がある。規制試験法は規制基準とセットで用いられるために，安全性（環境基準）とか危険性（有害廃棄物に関する基準）とが混同されることがある。焼却灰を対象とした国際的な研究グループの報告書[12)]は廃棄物の化学性状を包括的に把握するための方法論をまとめているが，この中でも規制のための方法と化学性状を把握するための方法とを区別している。この報告書では焼却灰の化学性状（characterization）が廃棄物管理（有害廃棄物の管理または有効利用）の基礎として重要であることが述べられている。また廃棄物の溶出特性を把握するために必要な切り口を図2のように捉えている。

溶出試験の目的は環境影響量を把握することが廃棄物管理上第一の目的と考えられるが，試験・検査の観点からみると化学性状の一部を示す情報といえる。表1に示すように種々の分析法により溶出特性が得られる。図3に示すように溶出試験の切り口は様々で，曝露シナリオによって採用する溶出試験は様々であり，溶出量も異なる。この切り口は多次元的に影響を与える。たとえばヒ素，鉄，マンガン等の元素は酸化還元条件が異なると，形態変化を伴って溶出量が変化する。また同時にpHの影響も受ける。どの因子が最も影響を及ぼすのかをみるためには，一つを除くすべての条件を固定して影響因子を変化させるべく周到な実験計画が必要となる。また海水を溶媒とした場合，溶出後のpHは海水の緩衝能によって水溶出とは異なる。たとえば鉛が溶出する試料を海水溶媒で溶出させたときに低値を与えたとする。同じpHではイオン強度の強い溶媒により溶出量が増す。しかしpHの影響を受けて結果的に鉛溶出量が減少する例があり，これらは2つの因子が重なりあう例である。一般的に一つの試験方法で環境影響量を表すことは無理で

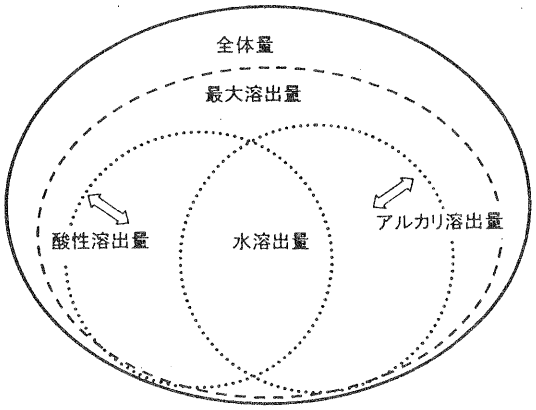


図3－1　溶出量の切り口(1)pH

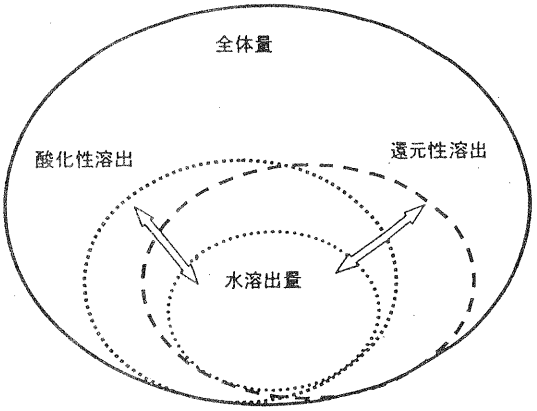
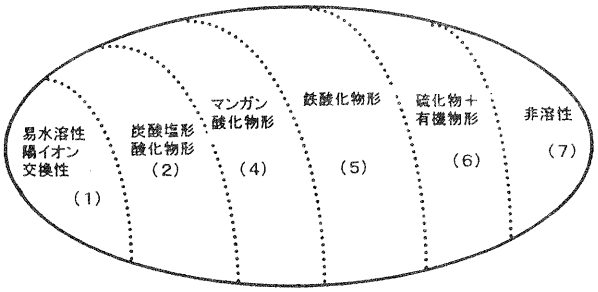


図3－2　溶出量の切り口(2)酸化還元状態（同一pHのもとで）



用いる溶媒によって分別する部分が異なることを利用する。
逐次溶出試験では形態別濃度を求めるために順次溶媒を変えて溶出量を求める。

図3－3　溶出量の切り口(3)形態別（逐次溶出試験法）

表3　選択的抽出法において通常用いられる抽出溶媒[14]

抽出試薬	主な化学的相互作用	適用性
H_2O	水和	緩い溶解
酢酸	酸性化	緩い溶解
H_2CO_3	酸性化	緩い溶解
H_3PO_4	酸性化	一般的な金属の抽出
クエン酸	酸性化	一般的な金属の抽出
強鉱酸の希釈液（例：HNO_3, H_2SO_4, HCl, HF）	酸性化	一般的な金属の抽出
強鉱酸の濃厚液（例：HNO_3, H_2SO_4, HCl, HF）	酸性化	金属酸化物の溶解，一般的な金属の抽出 主要な鉱物（珪素を除く）の溶解
HNO_3-HCl-HF	酸性化	全分解
NaOH	塩基性化	極性有機物質の溶解 Fe, Al の酸化物の溶解
$BaCl_2$, $MgCl_2$, $CaCl_2$, KNO_3, KF, NH_4Ac	高いイオン強度による溶解	交換性または物理的吸着物質
EDTA	錯化	交換性またはより強い結合の金属，炭酸塩の溶解，有機物相からの金属の回収
$Na_4P_2O_7$	錯化	有機物相からの金属の回収
蓚酸アンモニウム（酸性）	錯化	Al と Fe の非晶質酸化物の溶解
クエン酸-次亜硫酸塩-重炭酸塩	還元	Fe と Al の酸化物の溶解
塩酸ヒドロキシルアミン	還元	Mn の酸化物の溶解
H_2O_2	酸化	一般的な金属の抽出 有機物の分解

あり，数種の曝露条件が異なるバッチ試験，pH 依存性試験，長期溶出量のためのアベイラビリティ試験，さらにカラム試験等現在提案されている手法のいくつかを採用する必要がある。

逐次溶出試験は土壌に対して開発された手法であるが，廃棄物にも適用されている。欧陽らはこの手法を用いてアベイラビリティ試験の評価を行った[13]。その結果，鉄・マンガン水酸化物とみなされる還元性可溶画分が溶出してくることが示された。逐次溶出試験を提案した Tessier ら[14]による選択的溶媒と溶出画分について表3に示す。溶媒によっては廃棄物と反応することもあり，採用にあたっては図3のような逐次溶出試験の評価をそのまま適用することが難しい場合もあることに留意する必要がある。

5．環境庁告示第13号溶出試験の評価・留意点

管理型処分の可否を判定するために用いられるこの方法は当部会の最初の検討課題であった。水による溶出である方法は，フランスやドイツにおいても採用されている。廃棄物自身のもつ化学性状の影響を反映した方法である。他国の方法との違いは，溶出時間と濾紙孔径にある。他国では最低限16時間（アメリカ），多くは24時間の溶出時間を採用している。これは溶出が平衡状態になる時間を考慮しているためである。日本では6時間であるが，これは主に，分析時間の短縮の実用的観点を重視したものと思われる。この溶出試験は昭和58年に再検討されたが，そのときに行われた調査では，溶出時間は6時間以下（2, 4, 6）しか行われていない。今後は6時間と24時間の振とう時間の検討，またカラム試験による溶出量との比較も必要となるであろう。

固液分離の際に用いる濾紙の孔径は1 μm であるが，唯一告示13号試験が採用している。土壌汚染に関して用いられる溶出試験（環境庁告示第46号）や他国の規制試験では0.45 μm の濾紙を用いている。土壌を通過する際にコロイド以上の粒子は水系にでてこないと考えられているからである。告示13号試験では魚のエラの孔径を想定し，溶出毒性として通過する粒子は環境影響ありとみなしている。溶出データの変動を生じる原因の一つはこの濾過操作である。特に汚泥では1 μm で通過する粒子を多く含むため，粒子が溶出液に含まれる場合は高濃度の溶出量が検出されることがある。他国の状況と比較して，統一するのであれば，0.45 μm の濾紙孔径の方が合理的であり，精度管理も現在より良好になると思われる。土壌環境基準との整合性を保つことを特に意識する必要はないにしても，溶出毒性を中心に考えるとき，また管理型処分場から浸出水への移行を想定するシナリオからも濾紙孔径については再検討する時期ではないであろうか。

6．廃棄物試料の分析精度について（全国調査）[15]

環境庁が昭和49年から毎年行っている環境試料の分析精度に関する調査において，廃棄物関連試料として，平成8年度にばいじん試料が対象となった。参加機関数，分析対象項目，試験法等を表4に示す。試験は告示13号溶出試験と酸抽出（1N硝酸）であった。ばいじん試料はカルシウムが20%含まれており，消石灰が噴霧された後で集塵されたものである。この結果の平均値とその変動係数を表5と表6に示す。濃度によって変動係数は異なるが，異常値を除いた場合，数mg/lであった鉛と亜鉛は30%台であり，0.1 mg/l以下の銅とクロムは50～75%であった。鉛の溶出濃度の全平均は8 mg/l程度であり，データは平均値の0.5～1.5倍（4～12 mg/l）の間に多く分布していたが，10%（0.8 mg/l）以下，あるいは2倍（16 mg/l）以上の値を示す場合もあった。分析値のヒストグラムは低い値にすそをひく形であり，正規分布ではなかったため，平均値がメディアンよりも低い値となっている。酸抽出では測定濃度が比較的容易に測定できる数mg/l以上であったが，変動係数は50%程度と告示法と変わらなかった。試料は粒径125 mm以下と均一であり，廃棄物の分析試料としては分析が容易であったと思われるが，溶出試験の分析値の分布からみると1/2～2倍のばらつきはあるものと考えなくてはならない。

表4　平成8年度環境測定分析統一精度管理調査の概要[15]

分析対象項目	Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, As
参加機関	286～449（項目により異なる）
試験方法	溶出試験（環告13号） 1N硝酸抽出
機器分析の方法	フレーム原子吸光 電気加熱式原子吸光 ICP発光分析 ICP質量分析 吸光光度法

表5　ばいじん試料の平均値とばらつき（告示13号溶出試験）[15]

分析項目	棄　却	回答数	平均値 mg/l	室間精度 CV%
Cd	前	115	0.0148	254
	後	85	0.00152	97.1
Cu	前	332	0.093	87.3
	後	321	0.0821	53.1
Pb	前	452	8.69	114
	後	445	7.78	38.1
Zn	前	303	4.63	46.7
	後	301	4.43	37.2
Cr	前	255	0.0865	282
	後	237	0.0438	74.7
As	前	151	0.00444	238
	後	131	0.00164	95.1

表6　ばいじん試料の平均値とばらつき（酸抽出）[15]

分析項目	棄　却	回答数	平均値 mg/l	室間精度 CV%
Cd	前	376	4.11	149
	後	366	3.58	31.6
Cu	前	343	3.45	146
	後	311	2.13	56.7
Pb	前	436	21.1	97.2
	後	425	18.9	57
Zn	前	293	238	53.2
	後	291	234	50.4
Cr	前	260	0.738	187
	後	245	0.465	94.3
As	前	268	0.0986	250
	後	231	0.0244	85.7

7．化学性状サブ研究会の共通試料による分析

1998年より当部会で共通試料による分析を開始した。試料は比較的均一で粒度が小さく，前処理（篩い分け，粉砕）を要しない試料として飛灰4試料を用いた。分析の概要を表7に示す。廃棄物試料に加えて，国立環境研究所から提供された埋立地土壌[8] 2試料の計6試料を送付した。16機関に送付し，9機関からの回答を得た。現在解析中であり，今年度中に報告書としてまとめる予定である。結果の一例を示す。一般廃棄物焼却飛灰（高アルカリ）と下水汚泥焼却飛灰について異なる機関の溶出量を図4に示す。各元素についてばらつきがみられるものの，同一機関における元素間の溶出量の比はかなり似ていることがわかる。すなわち主成分元素の多い機関では微量元素も高い結果となっていた。溶出試験における振とうの度合い（agitation）が異なることに起因したのではないかと思われる。含有量分析の結果の一部を図5に示す。同一機関において測定された前処理の異なる含有量分析値であるが，全分析の一つであるアルカリ溶融による値を1としたときの他の前処理方法による値を示したものである。チタンとクロムを除くと多くの元素は，一般廃棄物焼却飛灰の方が酸抽出値（硝酸分解も含め）と全分解値の差がない。石炭灰と比較すると焼却灰は酸分解によっても全分解に近い値が得られるといえる。石炭灰では全分析＞王水分解＞硝酸分解という順に濃度が減少している。最近焼却灰の溶融（あるいは焼成）による処理が注目されるが，溶融スラグあるいはエ

表7　共通試料による分析の概要

試　料	① 石炭飛灰
	② 一般廃棄物焼却飛灰（高アルカリ）
	③ 一般廃棄物焼却飛灰（低アルカリ）
	④ 下水汚泥焼却飛灰
含有量分析	アルカリ溶融
	フッ酸＋他の酸
	王水分解
	硝酸加熱
溶出試験（公定法）	環告 13 号
	環告 46 号
	溶出時間
	その他
溶出試験（その他）	液固比
	pH 依存性
	pH 4
	pH 12
	Availability 試験
	TCLP 試験
	逐次溶出試験
測定項目	Na, K, Ca, Mg 等
	Hg
	Cd, Pb, Cu, Zn, Cr_6^+,
	Cr, Fe, Mn, Ni
	Cl, SO_4 等
	B, Mo, V 等
	As, Sb, Se

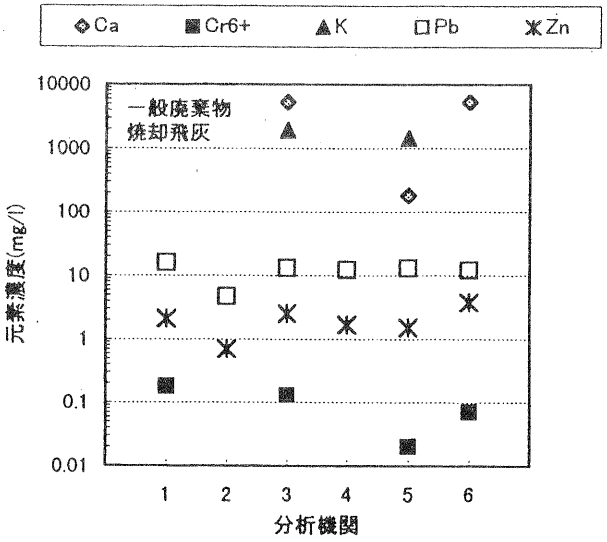


図4－1　共通試料による溶出試験結果
（一般廃棄物焼却飛灰（高アルカリ））

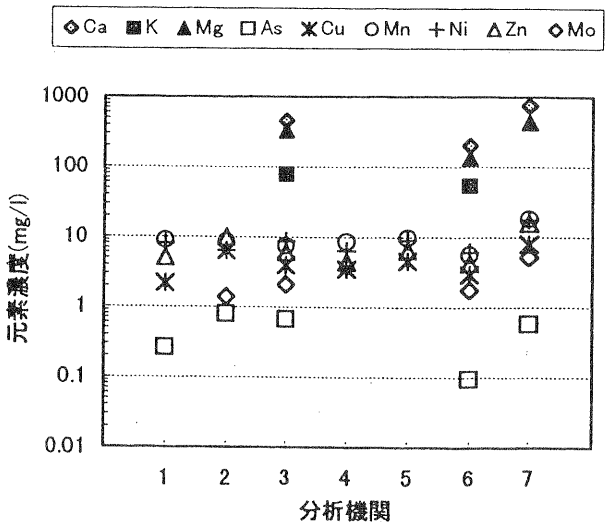


図4－2　共通試料による溶出試験結果
（下水汚泥焼却飛灰）

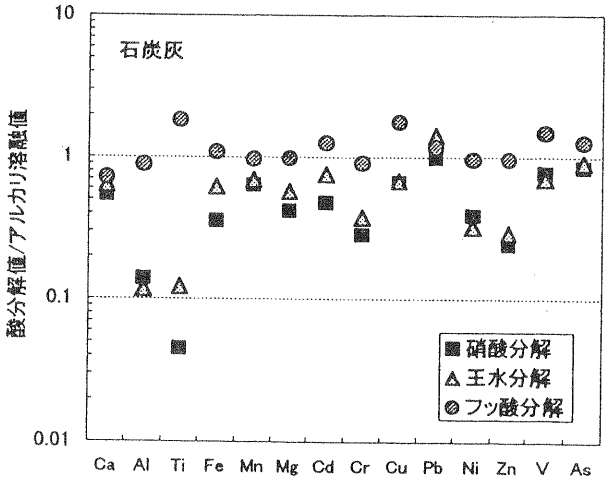


図5－1　アルカリ溶融に対する他の試験法の分析値の比較（石炭灰）

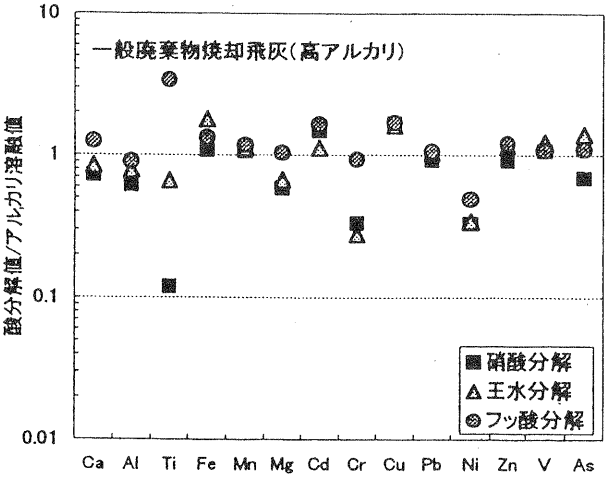


図5－2　アルカリ溶融に対する他の試験法の分析値の比較（一般廃棄物焼却飛灰（高アルカリ））

コセメントといった試料は石炭灰に近い比率であると思われる。廃棄物の二次製品の有効利用における分析では，全分析の値と酸分解の値はかなり差があることに留意して分析法を選ぶ必要がある。

この共通試料はまだ若干残りがあるので，参加されたい学会員の方に配布可能である。

8．終わりに

廃棄物管理における化学性状評価は化学分析をもとに行われる。昨今廃棄物に関する課題は多く，化学分析を伴う場合も多い。廃棄物管理の計画し，施行する部門と，分析に携わる部門は異なっており，時として分析データの評価はどちらもが中途半端となることがある。現場で問題を抱える試験検査の実務者が主に参加し，解決をめざして，部会が立ち上がった。廃棄物の化学試験のマニュアルづくりを目指しているが，その前に，多くのデータを集積し検討しなければならない事項も多い。現在無機物質を対象としているが，環境ホルモンや環境残留性有機化合物（POPs）の分析のニーズも高い。実務レベルで参加できる学会員の方の参加を期待したい。

謝　辞

当サブ研究会において共通試料の分析は，部会員の参加によって行われたものであり，これに協力された皆様に感謝いたします。

参考文献

1）廃棄物学会試験・検査法研究部会 1996 年度報告書
2）廃棄物学会試験・検査法研究部会 1997 年度報告書
3）廃棄物学会試験・検査法研究部会 1998 年度報告書
4）酒井伸一：「溶出試験方法の今日的課題―欧州における Harmonization の動きを含めて」，廃棄物学会試験・検査法研究部会 1997 年度報告書，pp. 1－9（1998）
5）尾崎正明：土木分野における再利用に関する溶出試験，廃棄物学会試験・検査法研究部会 1997 年度報告書，pp. 10－17（1998）
6）大迫政浩：廃棄物管理におけるリスクの制御と溶出試験の意義―廃棄物最終処分場を例として―，廃棄物学会試験・検査法研究部会 1997 年度報告書，pp. 18－33（1998）
7）V. Laperche, T. J. Logan, P.Gaddam and S. J. Traina: Effect of Apatite amendments on Plant Uptake of Lead from Contaminated Soil, Environ. Sci. Technol., 31, pp. 2745－2753（1997）
8）西川雅高，白石寛明，吉永　淳，安原昭夫，中杉修身，埋立地問題研究会：最終処分場埋立土壌のための環境分析試料の作成と応用，廃棄物学会誌，Vol. 11, No. 1, pp. 80－86（2000）
9）酒井伸一，水谷聡，高月紘：溶出試験の考え方，廃棄物学会誌，Vol. 7, No. 5, pp. 383－393（1996）
10）金子栄廣：溶出試験方法の現状と課題，廃棄物学会誌，Vol. 3, No. 3, pp. 182－191（1992）
11）水谷　聡：各国における安全性評価，焼却灰の適正処理と有効利用における安全性（平成 12 年度廃棄物学会セミナー），pp. 7－17（2000. 4. 7）
12）International Ash Working Group: An International Perspective on Characterisation and Management of Residues from Municipal Waste Incineration, Final Document（1995）
13）欧陽通，鳥貝　真，坂井るり子，王　寧，尹順子，岩島清，大迫政浩：廃棄物中の有害金属類の溶出ポテンシャルに関する研究，廃棄物学会論文誌，Vol. 10, No. 3, pp. 142－151（1999）
14）A. Tessier, P.G.C. Campbell, and M. Bisson: Sequintial Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals, Anal. Chem., 51, pp. 844－851（1979）
15）環境庁企画調整局環境研究技術課：平成 8 年度環境測定分析統一制度管理調査結果―ばいじん，模擬大気―（1997. 3）

Testing Methods and the Meaning of the Results in Chemical Characterization of Wastes

Akiko Kida*

* Hiroshima Prefectural Research Center for Health and Environment
(1-6-29 Minami-machi, Minami-ku, Hiroshima 734-0007 Japan)

Abstract

Waste management is substantially on the basis of scientific data concerning physical and chemical characterization. One of the objects of chemical characterization of wastes is that "how much substances (elemental, inorganic or organic) are contained in a waste" and "how much they might be released into the environment". In the process to obtain chemical characteristics, it is important to realize that different testing methods give different data. In this report, various testing methods of heavy metals were summarized. As the results vary from different sampling points or different testing methods, the variability of data in national survey of Japanese Leaching Test No. 13 (JLT 13), and our group survey on several testing methods including total content tests and the JLT 13 leaching test were used as the examples.

Key words: waste, chemical testing method, leaching test, content test, heavy metals

2　小集会報告

2000 年という区切りの年にあたり，小集会において今後の試験検査法のあり方を議論した。この報告記事を再録する。

日時　：2000 年 11 月 8 日（水）　17:30～19:30
場所　：北海道大学　学術交流会館　第１会議室
パネルディスカッション「２１世紀に向けた廃棄物管理と試験・検査法」

1．はじめに

循環型社会形成推進基本法が公布され、リサイクル推進への取り組みも一気に加速化されつつあり、廃棄物管理の目的も近年大きく多様化し変化してきている。これまで適正処理を担保するための廃棄物性状把握手段であった試験・検査法にも、多様な機能が要求されるようになった。21 世紀も同様の流れはさらに強いものになるだろう。

21 世紀の到来を間近にして、ここで一旦、これまでの流れを振り返り、将来の姿を描いてみることが必要ではないか、そのような思いから、廃棄物試験・検査法研究部会では例年と多少趣向を変えて、このような壮大なテーマを取り上げてみた。少々無理があるかと心配はしたが、この落ち着いた北海道の地で、たまにはゆっくり皆で考えてみようではないか、その程度のスタンスで当日の小集会を迎えた。蓋を開けてみると、初日夕刻からの開始にもかかわらず、１３０名もの多数の方々にご参加頂き、活気のある有意義な集会になった。

まず河村氏（当研究部会代表：埼玉県環境科学国際センター）による挨拶から始まり、当研究部会が設立されてからの活動経緯などが紹介され、メインとなるパネル討論会での雰囲気を盛り上げるための前振りを意識して挨拶を頂いた。

次に、谷川氏（当研究部会幹事：東京都環境科学研究所）から、３つのサブ研究会の本年度活動内容について簡単に説明がなされた。

さて、本小集会のメインは引き続き行われたパネル討論会である。テーマ設定の背景などは冒頭で述べたが、以下、パネル討論会の様子を要約して紹介したい。

2．パネラーからの話題提供

まず、司会である大迫氏（当研究部会代表補佐：国立公衆衛生院）から、今回のテーマ設定の背景などが話され、各サブ研究部会の立場から 20 世紀を振り返り 21 世紀にやるべき課題などを自由に話題提供して欲しい旨、各パネラーに投げかけがあった。各パネラーからの話題提供は、まずごみ質サブ研究会幹事の渡辺氏（大阪市立環境科学研究所）、化学性状サブ研究部会幹事の貴田氏（広島県保健環境センター）、バイオアッセイサブ研究部会幹事の山田氏（国立公衆衛生院）の順に行い、最後に、各パネラーからの話題提供内容も意識して頂きながら行政の立場で土居氏（環境庁水質保全局海洋環境・廃棄物対策室）から話題提供してもらった。

2.1　試験・検査の品質管理について（渡辺信久（大阪市立環境科学研究所））

雪印や JCO、ロケット打ち上げ失敗、O-157 濡れ衣ハムなどの生々しい問題を例として、中身を知ろうとせずに工程・手順だけを闇雲に信じて結果のみをつくろうとする姿勢、しかもそれを低コストで行うとする傾向が品質管理の危機を招いている。そのことを試験・検査法に置き換えると、試験・検査のデータは売り買いされるが、その結果については、「計量証明」がつけば、全ておなじグレードとして取り扱われる。.計量証明は、ライセンスと「こうしてこうやればよい」という「工程基準」に基づいて権威付けされるものであり、「性能基準」はない。「性能基準」が存在しない製品というのは、商取引の対象としては、かなり特異な存在であり、性能基準なしに経費削減を求めれば、計測値の品質低下は避けられない。

計測値の品質管理としては、委託試料の中に既知試料を混ぜておいて、計測の精度を確認するという方法が考えられる。品質管理のマニュアルを策定することで良しとするのは、管理者層の責任放棄である。

しかし、品質管理が達成されたとしても、方法自体に問題を含むことがある。例えば RDF 中の塩素計測を例とすると、JIS に記載される 2 法で、試料によって計測値に大きな開きが出ることがあるが、どちらもれっきとした結果である。同じ項目であっても、方法によって値が異なることを、理論と実践で明らかにすることが我々の仕事の重要な一面である。

結論として、試験・検査において、「性能基準」に基づいた品質管理と方法自体の原理の見直しが今後必要である。

2.2　規制的・研究的・国際的視点からの課題（貴田晶子（広島県保健環境センター））

「循環型社会の中での化学分析・試験方法の位置づけ」、「20 世紀にやり残したこと」、という感じで規制的・研究的・国際的視点からお話ししたい。

1）規制的視点

溶出試験はこれまで変更されていないが、告示 13 号法と 46 号法は統一されるべきか、農用地土壌汚染の分析法等との調和をどう考えるべきか、などの問題がある。また、有機物質など対象物質によっては、有害性評価として含有量試験を採り入れるほうがベターかもしれない。、また、廃棄物の有害性評価と有効利用の安全性評価としての試験方法のあり方の議論は大変重要である。さらに、有害物質は微量の化学物質だけではない点も再度認識すべきである。

2）研究的視点

評価すべき対象・目的の下で、物理的手法（ごみ質）、化学的手法（化学性状）、生物的手法（バイオアッセイ）は相互に補完し合わなければならない。物質量を対象とした試験法の延長は、最終的には環境影響量を把握することである。その意味では、バイオアッセイは直接的な影響評価であるが、管理の為には化学性状の情報が不可欠であり、逆に、化学性状だけで影響評価はできず、バイオアッセイとのリンクが必要である。有効利用のためには、物理的性状と化学的性状の両方の把握が不可欠である。環境影響を調べるための試験方法として再度全体をまとめ直す必要がある。このような意識の中で、埋立地で起こる実際の現象と溶出試験データの関係、循環型社会に向けた廃棄物二次製品の評価法などのあり方が具体的に議論すべき項目として挙げられよう。

3）国際的視点

有害廃棄物の分類試験や有効利用のための試験方法の確立においては、国際的な統一化の動きを注視していかなくてはならない。欧州では物理選別後の焼却灰が多く利用されているが、日本でそのような方向は出てくるのであろうか。管理しながら有効利用する方向性とその中での安全性評価法などの議論も欧州等の状況をみると必要ではないか。

4）その他

分析業務は効率化のために分業化され、GLP 対応あるいは ISO 取得の民間分析機関が増加した。このような流れの中で、将来廃棄物の分析の専門家が必要とされるのか、また廃棄物の化学分析に研究的課題はありうるのかといった不安がある。個人的経験からいえばデータの評価には“職人的な目”が必要と思う。

2.3　予防原則と混合毒性パラメータ（山田正人（国立公衆衛生院））

監視／管理すべき有害化学物質は増え続け、コスト・労力は増加するばかりである。ND データが羅列されるような非効率な流れは大きな問題だ。一方でトータルなリスク管理が求められ、未規制・未知物質への対応が課題となった。このような背景の中でバイオアッセイは有効なツールとなる。しかしバイオアッセイにもいろいろな問題があり、問題点を踏まえた活用の考え方を見いだすことが必要であり、予防原則と混合毒性パラメータが重要なキーワードとなる。化学物質によるリスクには科学的不確実性

が伴うが、科学的な解明を待っていては手遅れになるかもしれない。予防原則はそのような中でのリスク管理の考え方である。

科学的不確実性の中でコストのかかる精密な個別物質の評価を行うよりも、スクリーニング的な役割での混合毒性パラメータとしてバイオアッセイを活用していく方が得策である。予防原則の下で、悪影響を引きおこす可能性の特定や実行可能な防止策の選択などの環境管理のツールとして活用されるべきであり、精密かつ詳細な化学分析によるリスクアセスメントの前段階における予防的アクションのトリガーとなるべきである。

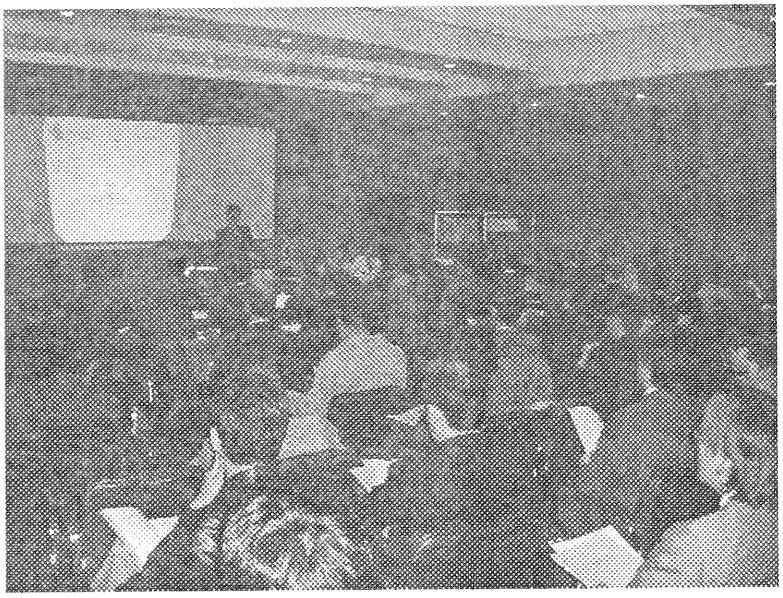
2.4　行政の立場から（土居健太郎（環境庁水質保全局海洋環境・廃棄物対策室））

3名のパネラーの方のお話を聞きながら考えた点を、いくつかお話ししたい。

まず、サンプリングの件であるが、廃棄物の性状把握の場合、代表性のある試料をサンプリングすることは極めて難しい。不均一性からくるバラツキもさることながら、特に産廃の場合は、様々な業種、発生工程から生じる廃棄物を受け入れている場合など、ロットごとに性状が異なる場合もあるので、1ロット内の不均一性以前の問題がある。そのような質の大きな変動の中で、試験・検査法における細かい測定条件を議論しても、実態の把握においては現実的には意味に乏しい場合もあるかもしれない。そうであれば、試料のサンプリングの考え方を確立することが先決であるし、その上で階層的な精度管理によって全体を体系化すべきである。

つぎは、国際的な試験方法の整合性の問題である。バーゼル条約での有害性の試験・検査方法と国内の方法は異なっている。その点は大きな問題であり、将来的には国際的にも整合のとれた試験・検査法の体系化も可能な限り議論すべきである。しかし、各国で異なる方法を用いているのも事実であり、廃棄物に係わる試験・検査法の項目ごとに、国際的な標準化の動向もみながら、国内的事情も勘案して議論していく必要があろう。

最後に、個々の廃棄物の試験・検査法の目的・思想を再度確認する必要がある。溶出試験法は初め埋立判定方法として適用されたが、リサイクルの判定にも用いられているように、目的が変化してきている中で、元々の思想から考えた場合に、本当に適切なのかという問題である。各試験・検査法ができた当時の思想に係わる情報があまり残っていないので確認できないが、これまでの試験・検査法ができたときのそもそもの思想を再確認して議論し、これからの新しい目的に合致した試験・検査法を確立していくべきである。



3．司会による総括的な問題提起

1）試験・検査法の枠組み

試験・検査法の枠組みとして、①単一の測定法から試験・検査プログラムとして機能する時代へと変化すべきこと、②試料採取から測定・データ解析・報告の一連の流れ全体が試験法であることの認識に中で、精度管理・安全管理システムを確立する必要があること、③品質・精度管理のためには、国家標準としての標準試料の開発が必要であること、が考えられる。

2）求められる要件

求められる要件に関して、①試験・検査法を実施する目的の明確化によって、要件も決まること、②リスク制御の精度要件と時空間的要件で整理すべきこと、③要求される精

度と頻度がコストに反映すべきこと、があげられる。

3）21 世紀のビジョン

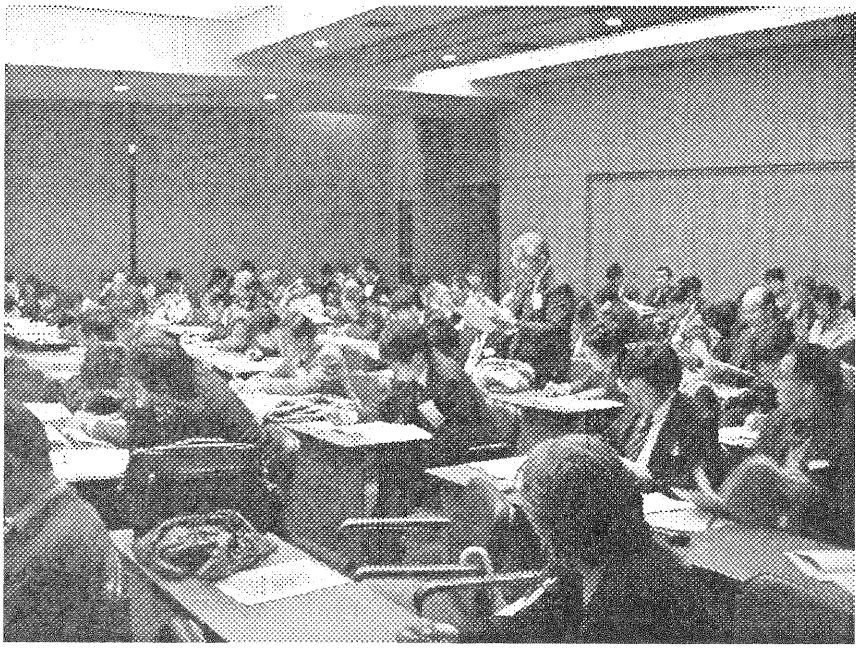
目的はさらに多様化する。適正処理から循環型社会形成へ、生活環境・健康影響から地球環境・生態系影響の制御までも視野に入れた試験・検査法になる。対象は廃棄物から循環資源、製品・原料へと遡り、要求される情報は増加し、情報入手のポイントも上流側にシフトする。情報入手手段である試験・検査法は、大きく変化していかなくてはならない。

フロアとの議論については、試験・検査法の最終目的としてリスク管理とリサイクルの視点を挙げ、求められる要件として精度管理と簡易化というキーワードで意見を伺いたい。

4．フロア及びパネラーからの主な意見

・廃棄物の試験・検査法はいろいろ難解な点があり、研究としても軽視されがちであったが、最も重要な研究分野であり、やるべきことは多い。

・各サブ研究会の共通課題として、目的に応じたサンプリング方法、代表性があるサンプリング方法の検討がある。



・いろいろな対象に対して現場サイドで持っている分析データを、体系的にデータベース化すべき。

・埋立処分場において優先的に管理対象とすべき化学物質のリストを挙げたが、実際に現場で測定しておられる方々の意見も聞いて、精度を上げていくことが必要。

・開発途上国への技術支援において、途上国でも実施可能な簡易的な試験方法を検討することも必要。

・欧州等の海外における標準化の動きに関する情報等を入手して、対応して行くべき。

・欧州標準化委員会において、規制試験としての溶出試験や試験法自体をつくる上での科学的妥当性に関するロジックを標準化する動きがある。

・当研究部会で検討した成果が国で公定法として標準化されるような状況が必要。

・国の公定法や JIS 化など、学会の活動が反映されることは十分可能である。

・廃棄物の試験に使われる JIS 法などに疑問を持っている人も多いのではないか。

5．全体を通して

全体的に、各パネラーやフロアからの意見がいろいろな方向を向いていたので、議論が発散した感があったが、それだけ 21 世紀に向けて多くの課題を抱えていることを象徴するものであった。大きな理念も具体的な問題解決もどちらも大事なことなのである。

小集会後の反省会で、河村代表から「21 世紀の試験・検査法のあり方」を考えるサブ研究会を作ってはという提案があった。時限付きの特命サブ研究会として、当面少人数のグループ構成として動いていこうと考えている。小集会での様々な意見を整理しながら、当研究部会の将来的なアクションプランを早急に作成し、提案したい。

（文責　大迫）

3　廃棄物学会誌投稿論文

2000年度に投稿したごみ質サブ研究会の論文を再録する。

廃棄物学会誌，第12巻，第1号，pp. 60 - 66 (2001)掲載

ごみ中塩素計測法に関する検討

渡辺信久，谷川昇，石川千晶，山本実，前弘，篠原明義，松江努，佐藤茂夫，及川智，河村清史

廃棄物学会誌, Vol. 12, No. 1, pp. 60 - 66, 2001

【技術報告】

ごみ中塩素計測法に関する検討

渡辺信久* ・谷川　昇** ・石川千晶***
山本　実**** ・前　弘***** ・篠原明義*****
松江　努***** ・佐藤茂夫****** ・及川　智**
河村清史*******

【要　旨】 ごみ中塩素（Cl）分析法の概説を行い，方法間でのデータの差異の事例を示し，それぞれの方法で求められるデータの意味について考察した。分析方法は，大きく分けて，燃焼管法，ボンブ法およびるつぼ燃焼法の3通りがある。実試料を用いて，複数の試験・研究機関で行った実験から，燃焼管法での計測値が，ボンブ法およびるつぼ燃焼法より有意に低い値を与える可能性があることがわかった。燃焼管法が低値を与える理由として，アルカリ（土類）金属（Na, Mg, K および Ca）の影響が考えられる。生成したアルカリ（土類）金属塩化物は，試料燃焼温度が600℃の時にはボート中の灰に Cl が残留し，一方，試料燃焼温度が900℃の時にはそれ自体が揮発するものの，燃焼管内壁に吸着し，いずれにしても吸収液まで到達しない。しかし，燃焼管法で吸収液に移行する Cl 量は，燃焼時の HCl 生成量を表しており，揮発（燃焼）性塩素の評価方法として有効である。

キーワード：塩素，都市ごみ，ボンブ法，燃焼管法，エシュカ法

1. はじめに

ごみ中の塩素（Cl）分の計測という素朴なテーマに対して，「何を今さら」と感じる人も多いと思う。しかし，現実には，とても不確定要素の大きな問題であることがわかってきた。いままで，「Cl はごみ燃焼時の HCl の起源」という観点で，取り扱っていたものが，焼却灰そのものが興味対象になる（たとえば材料の原料などとして）にしたがい，「不純物としての Cl」へと移りつつある。両者は一致せず，実は，HCl の計測を元に見積もっていた Cl 量は，全 Cl の一部にすぎない。にもかかわらず，その差異の大小や，各計測方法の原理にさかのぼっての議論は，不足している。

類似の議論は，既に，燃料中の硫黄（S）分析を巡って，過去に展開されている[1]。以前は，「SOx につながるか否か」の観点から，「燃焼性」「不燃焼性」の区別がなされたようだが，微粉炭の使用等で，次第にその分画が曖昧になり，「全硫黄」と「灰中の硫黄」という分画に至った。

Cl と S の分析は，基本的には，燃焼分解して Cl^- および SO_4^{2-} の形態で水溶液に移し，そのイオンの量を計測するというものであり，燃焼分解する工程は，酷似している。表1に Cl と S の分析方法の一覧を示す。大きく分けて，燃焼管法，ボンブ法およびるつぼ燃焼法の3通りがあり，廃棄物固形化燃料（RDF）中 Cl については，燃焼管法とボンブ法が，JIS Z 7302-6[2]に採用された。しかし，前記3方法を実試料に適用したときに

原稿受付 2000. 10. 16
* 大阪市立環境科学研究所
** 東京都清掃研究所（現 東京都環境科学研究所廃棄物研究室）
*** 仙台市環境局　施設部施設課
**** 横浜市環境事業局　廃棄物資源開発室
***** ㈱大阪化学分析センター
****** 太平洋セメント㈱　研究本部佐倉研究所
******* ㈱島津テクノリサーチ　分析部
******** 日本工業大学機械工学科
********* 埼玉県環境科学国際センター
連絡先：〒543-0026　大阪市天王寺区東上町8-34
大阪市立環境科学研究所環境工学課　渡辺　信久

表1　固体試料中の塩素および硫黄の分析方法

	分析方法	分析の原理および方法	記載文献
塩素	燃焼管式空気法	試料をボートに乗せて燃焼管の中で，燃焼させ，Clを主としてHClに変換して，吸収液で捕集し，吸収液中のCl^-を計測する。	JIS Z 7302－6（RDF）
	酸素フラスコ法	試料を酸素を満たしたフラスコの中で燃焼させ，燃焼ガスと灰中の塩化物を吸収液に捕集し，吸収液中のCl^-を計測する。	JIS K 7229（塩素含有樹脂中の塩素の定量方法），ISO 1158（プラスチック中の塩素）
	ボンブ法*	試料を酸素を満たしたボンブの中で燃焼させ，燃焼ガスと灰中の塩化物を吸収液に捕集し，吸収液中のCl^-を計測する。	JIS Z 7302－6（RDF），ASTM D－2361－95（石炭中の塩素の標準的分析法）
	アルカリ溶融法	試料を水酸化カルシウム（試料の8倍量）と混合し，るつぼ中で650℃，0.5時間燃焼させ，これを水に溶解し，溶解液中のCl^-を計測する。	廃棄物ハンドブック（日本廃棄物学会）
	エシュカ法	試料をエシュカ合剤（酸化マグネシウムと炭酸ナトリウムの混合物）と混合し，るつぼ中で675±25℃，1時間燃焼させ，これを水に溶解し，溶解液中のCl^-を計測する。	ISO 587（エシュカ法による石炭・コークス中の塩素定量），ASTM D－2361－95（石炭中の塩素の標準的分析法）
	るつぼ法	試料を酸化亜鉛および酸化カルシウムと混合し，白金るつぼ中で350～400℃で燃焼させ，これを水に溶解し，溶解液中のCl^-を計測する。	JIS K 7229解説（制定過程で検討したが採用を断念）
硫黄	高温燃焼法**	試料をボートに乗せて燃焼管の中で，1,350℃で燃焼させ，SをSOxに変換して，H_2O_2吸収液で捕集し，吸収液中のSO_4^{2-}を計測する。	JIS M 8813（石炭・コークス），ISO 351
	エシュカ法**	試料をエシュカ合剤（酸化マグネシウムと炭酸ナトリウムの混合物）と混合し，るつぼ中で800℃，1.5時間燃焼させ，これを水に溶解し，溶解液中のSO_4^{2-}を計測する。	JIS M 8813（石炭・コークス），ISO 334
	燃焼管法***	試料をボートに乗せて燃焼管の中で，950℃で燃焼させ，SをSOxに変換して，Na_2CO_3もしくはH_2O_2吸収液で捕集し，吸収液中のSO_4^{2-}を計測する。	JIS K 2541（原油および石油製品），ISO 4260
	放射線式励起法	蛍光X線分析	JIS K 2541（原油および石油製品），ISO 8754
	ボンブ法*	試料を酸素を満たしたボンブの中で燃焼させ，燃焼ガスと灰中の硫黄酸化物を吸収液に捕集し，吸収液中のSO_4^{2-}を計測する。	JIS K 2541（原油および石油製品）

* JISでは，「ボンベ式質量法」と名付けられている。
** 石炭中の硫黄分は，エシュカ法計測値と高温燃焼法計測値は完全に一致せず，後者が前者の2～5％低値を与える（JIS M 8813解説）。
*** 硫黄計測の燃焼管法は，Wickbold法，空気法，酸素法等があるが，ここでは一括して表記。

有意な差が見られることも，報告されている[3]。

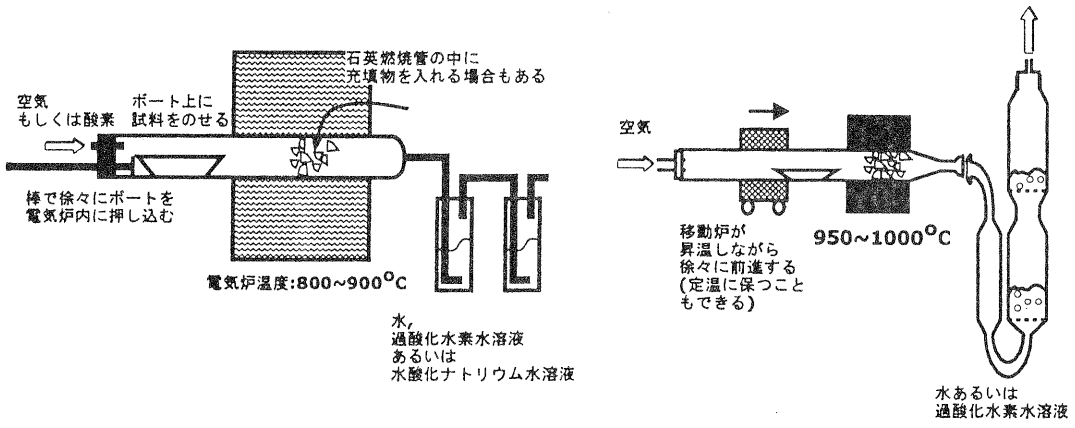
このような状況をふまえ，廃棄物学会試験・検査法研究部会はその活動のひとつとして，ごみ中Cl，Sの計測方法について共同実験を行った。この報告は，Clのみに的を絞り，まず固体試料中Clの分析方法の概略をまとめ，共同実験の概要を報告し，さらに追加実験を交えた考察をつけ加えたものである。

2．規格化された方法について

2.1　燃焼管法

廃棄物分野では，既に1970年代から，Clに関する記述が頻繁に見られた[3-9]。そのテーマは，焼却排ガス中に相当量が検出されるHClの起源・対策方法に関するものであった。起源に関する研究では，ポリ塩化ビニルやポリ塩化ビニリデンだけではなく，食塩等の無機ClからもHClを生成することが，指摘されている[4-9]。また，実際の焼却炉で無機ClからHClを生成する「転換率」として，20～40％が報告されている[6,8]。

この経緯から見ても明らかなように，「HClを生成するか否か」が最重要課題であったので，実験装置として，ボートに乗せた試料を石英管の中で燃焼させて，生成するガスを吸収液で捕集するもの（図1）が多く用いられた。そして，燃焼温度を上げると，吸収液に捕集されるHCl量が増えるので，「無機ClからHClへの転換率の上昇」の実験的確認が達成されたのである。このことから，「廃棄物試料中のCl計測」が，「HClを生成するCl量を求める」ことで代替され，揮発性Clあるいは燃焼



(a) 燃焼管に試料を押し込む方法　　(b) 移動炉が前進する方法

図1　燃焼管法の装置

性 Cl と呼ばれるようになったと考えられる。1970 年代後半には，廃棄物試料の分析法に関する書物[10]も出版され，その中では，「揮発性」や「燃焼性」の注釈を省略した形で記載されていることもあった。

一方，石英管の中で試料を燃焼させてそのガスを吸収する方法は，化学分野では硫黄・ハロゲンの分析方法として，一般的な方法である[11]。そのこともあり，本来，「HCl を形成する Cl」を計測する方法であった燃焼管法が，ひとまず RDF 中 Cl の計測方法として採用されたと考えている。しかし，JIS Z 7302－6「廃棄物固形化燃料-第 6 部：全塩素分試験方法」解説の記述を見ると，「RDF 中の塩素は燃焼により揮発するかどうかで揮発性塩素と残留性塩素に分かれるが，……」とあり，燃焼管法での Cl 計測値と試料中の全 Cl 量との差異に対する葛藤を伺い知ることができる。

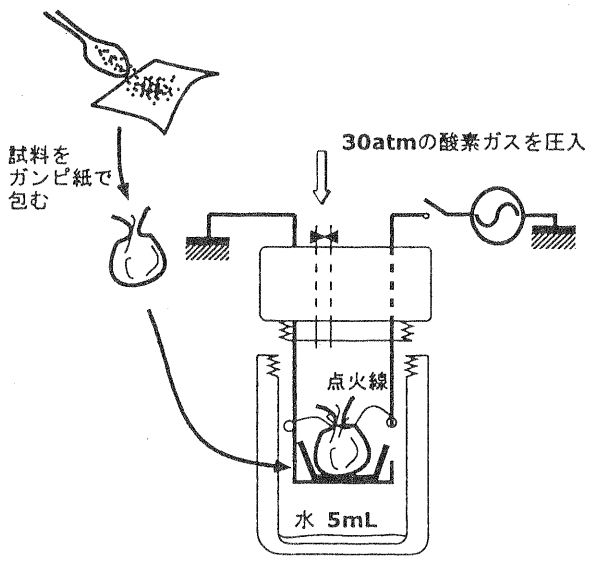


図2　ボンブ法

2. 2　ボンブ法

ボンブ法は，密閉系で試料を燃焼分解する方法（図 2）である。原理的には，酸素フラスコ法と同じである。酸素フラスコ法は，化学分野の元素分析に関する総説[11]で最初に紹介される古典的なものでもあり，JIS K 722[12] および ISO 1158[13] でも採用されている。酸素フラスコ法ではフラスコ内に封じ込めた大気圧酸素で試料を燃焼するのに対して，ボンブ法では，30 atm で圧入した酸素で燃焼する。分析可能試料量が異なり，それぞれ，20 mg および 500 mg である。廃棄物試料は不均一性が著しいため，試料を多くとれるボンブ法の方が有利である。

ところで，ごみ試料については，Cl，S 計測におけるボンブ法での実績は多くない。試験・検査法研究部会が 1996 年度に自治体を中心としたアンケート[14]で得た回答（表 2）では，8 件中 1 件であった。しかし，ボンブ法は，灰中の Cl も回収することができるために，JIS Z 7302－6 で採用されるに至ったものと考えられる。

2. 3　るつぼ燃焼法（エシュカ法，アルカリ融解法あるいはるつぼ法）

エシュカ法とアルカリ融解法を総称した呼び名として，ここでは「るつぼ燃焼法」の語を用いる。方法によって，使用する薬剤が若干違う（表 1 参照）が，要は試料を大量のアルカリ（土類）金属類と混ぜ合わせて燃焼し，Cl をアルカリ（土類）金属塩化物として灰中にとどめ，これを可溶化させて抽出液中の Cl^- を計測しようとするものである（図 3）。

実は，JIS K 7229「塩素含有樹脂中の塩素の定量方法」の検討過程で，るつぼ燃焼法は，「燃焼管法や酸素

表2　各機関が採用している元素分析方法（1996年度調査）

	仙台市	東京都	横浜市	京都市
水素	シェフィールド法	シェフィールド法	シェフィールド法	シェフィールド法
炭素	シェフィールド法	シェフィールド法	シェフィールド法	シェフィールド法
窒素	ケルダール法	ケルダール法	ケルダール法	ケルダール法
硫黄	燃焼管法	燃焼管法	燃焼管法	燃焼管法
塩素	燃焼管法	燃焼管法	燃焼管法	燃焼管法
酸素	計算	計算	計算	計算

	大阪市	福岡市	大阪化学分析センター	㈱日本検査
水素	シェフィールド法	CHNコーダー	CHNコーダー	CHNコーダー
炭素	シェフィールド法	CHNコーダー	CHNコーダー	CHNコーダー
窒素	ケルダール法	CHNコーダー	CHNコーダー	CHNコーダー
硫黄	燃焼管法あるいはボンブ法		燃焼管法	燃焼管法(燃焼性：800℃, 全硫黄：1,350℃) あるいはアルカリ溶融法（全硫黄）
塩素	燃焼管法あるいはボンブ法		燃焼管法	燃焼管法(燃焼性：800℃, 全塩素：1,350℃) あるいはアルカリ溶融法（全塩素）
酸素	計算	計算	計算	計算

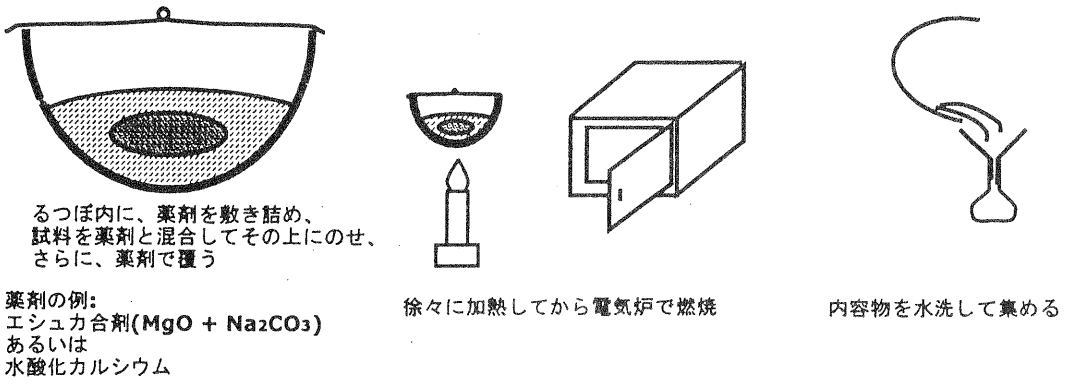


図3　るつぼ燃焼法

フラスコ燃焼法に比べて低値を与える」として，採用が断念された経緯がある[12]。にもかかわらず，ここで敢えて紹介するのは，石炭等の固形燃料中のCl分測定方法として，エシュカ法が，ISO 587（エシュカ法による石炭・コークス中の塩素定量）[15] とASTM D-2361-95（石炭中の塩素の標準的分析法）[16] に採用されており，なおかつ，ごみ試料は，無機Clと灰分を多く含み，るつぼ燃焼法に適しているのではないかと考えているためである。また，わが国の廃棄物学会が刊行した「廃棄物ハンドブック[17]」でも，るつぼ燃焼法が記載されている。

3．塩化物イオンの計測

Cl計測は，水溶液に可溶化させた後に，塩化物イオンとして計測するのが一般的である。塩化物イオンの定量方法として，チオシアン酸水銀法（比色法），チオシアン酸鉄滴定法およびイオンクロマトグラフ法がある。

4．共同実験

4．1　共同実験の概要

試験・検査法研究部会では，1999年度にごみ試料中のCl，Sの分析に関する共同実験を行った。日常のごみ質調査で得られる試料から紙類・プラスチック類・厨芥類を取り出し，別々に破砕した試料を8機関に配布して分析を行った。方法については特に規定せず，「通常用いている方法で」とした結果，燃焼管法6件，ボンブ法3件，るつぼ燃焼法1件での報告があった（複数の方法で計測値を報告した機関もあった）。ほとんどの機関から，複数回の繰り返し分析の結果が報告された。

4．2　結果および考察

計測値のヒストグラムを図4に示す。燃焼管法での計測値よりも，ボンブ法，るつぼ燃焼法での計測値の方が高かった。

燃焼管法での計測値が低くなり，しかもボンブ法に比べてばらつきが大きかった理由として，無機Clからの

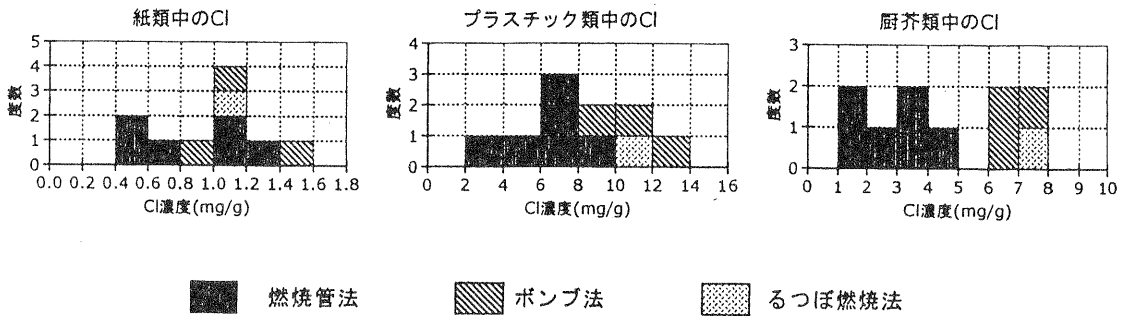


図4　ごみ中 Cl 分析共同実験の結果

HCl への転換の効率の変動が考えられる。転換率は，必ずしも一定でなく，操作条件（燃焼温度，ボート形状，試料上へのかぶせ剤の有無等）で変動する。たとえば，燃焼温度が低い場合は，計測値は低くなり，また，試料上でのかぶせ剤（沸騰石など）を使用して高温で長時間（たとえば 2 時間）燃焼する条件での報告値は，高い値を与えた。

ボンブ法での計測値のばらつきの原因については，ボンブ内での燃焼が完全に終了していないことと，灰中に残留した無機塩素が吸収液に完全に移行しない等の原因が推測されるが，今後の詳細な検討が必要であろう。

るつぼ燃焼法での回答は一機関のみであったが，ボンブ法と近い計測値を得た。

5．追加実験 —— 燃焼管法での Cl の分配 ——

燃焼管法では，燃焼温度によっては Cl が灰中に残留することは，容易に想像できる。一方，燃焼温度を上昇させると，Cl と Na, Mg, Ca, K 等のアルカリ（土類）金属が結びついて生成する塩化物の揮発の可能性がある。これらの塩化物の飽和蒸気圧[18]を図 5 に示す。NaCl, $MgCl_2$ および KCl の飽和蒸気圧は，900℃ では 0.001 atm を越え，相当量の Cl がボート上面を流れる気流に運ばれて揮発する可能性がある。これらの無機 Cl 化合物が，石英管内壁に付着して吸収液まで到達しなければ，負の誤差を与える。

これらのこと（灰への残留および石英管内壁への付着）を確認するために，燃焼温度を 600℃ と 900℃ の 2 通りに変化させ，ガス吸収液だけではなく，ボートに残る灰と，燃焼管内壁を蒸留水で洗浄してその洗液中の Cl^- をイオンクロマトグラフで計測した（図 6）。実験は，同一条件で 2 回ずつ行った。

結果を図 7 に示す。各部で検出された Cl 量の合計は，0.86 ～ 1.0 mg/g（紙類），7.0 ～ 8.7 mg/g（プラスチック類）および 6.4 ～ 6.7 mg/g（厨芥類）であった。共同実験でのボンブ法およびるつぼ燃焼法の計測値と比較

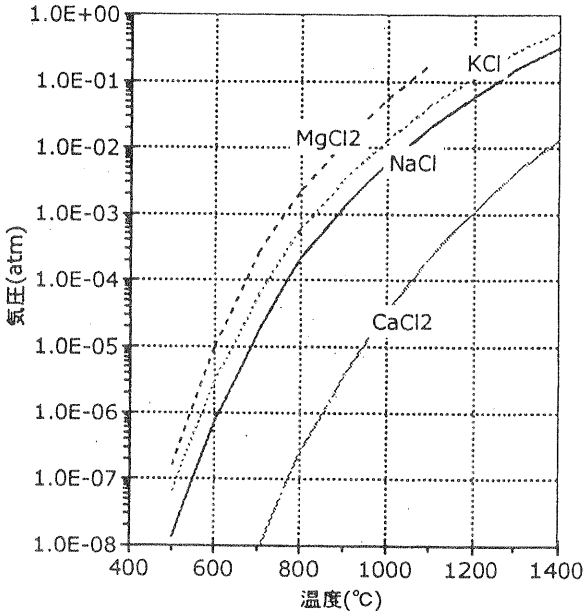


図5　アルカリ（土類）金属塩化物の蒸気圧

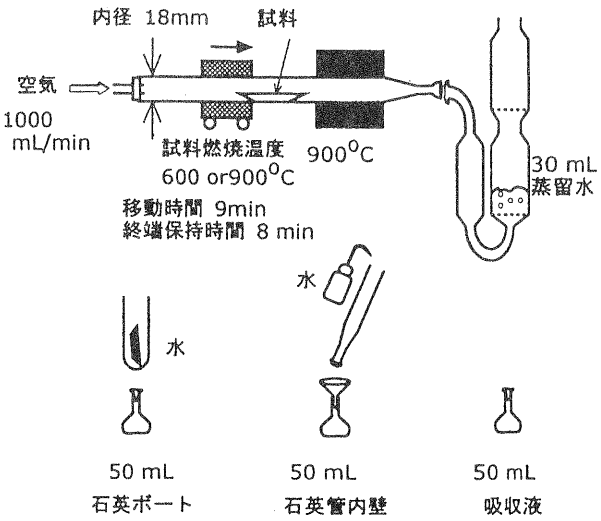


図6　燃焼管法での塩素の灰，燃焼管内壁および吸収液への分配を調べる実験

すると，紙類および厨芥類ではよい一致を見せたが，プラスチック類では追加実験での結果が低めであった。これは均一な試料採取が困難であったためと考えられる。

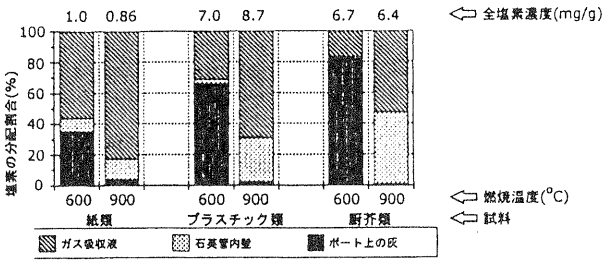


図7　燃焼管法での塩素の灰，燃焼管内壁及び吸収液への分配

ボートへの分配（灰中に残留）は，600℃での燃焼では，35%（紙類），66%（プラスチック類）および82%（厨芥類）であったが，900℃では0.7～4.0%であった。

石英管内壁への付着は，600℃での燃焼では1.2～8.5%であったが，900℃では13%（紙類），28%（プラスチック類）および47%（厨芥類）であった。すなわち，特に900℃という高い温度での燃焼で，石英管内壁へのClの移行が著しい。

6. おわりに

ごみ中Clの分析方法について，まず既往の方法を整理し，試験・検査法研究部会での共同実験を通して現段階での問題点を明らかにし，追加実験を行いながら，その問題点について考察を加えた。

共同実験の結果，ボンブ法とるつぼ燃焼法が，燃焼管法に比べて高い値を示すということが明らかとなった。ボンブ法とるつぼ燃焼法は，全量分解・全量回収であるので，試料中の全Cl量を計測する方法として有効と考えられる。ただし，実試料を適用したときの問題（完全に燃焼が終了しているか，灰中の無機塩素が吸収液に完全に移行しているか等）も，今回の共同実験でかいま見られており，今後の検討は不可欠であろう。

燃焼管法では，灰中および燃焼管内壁に相当量のClが保持され，吸収液に移行するCl量は，全Clの一部である。試料燃焼温度を上昇させても，全Clが吸収液に移行するとは考えにくい。むしろ，550～650℃の低温で燃焼した場合に吸収液に捕集されるCl量で「燃焼時HCl発生量の下限値」を求めることができると考えられる。

今回の共同実験の試料数は十分ではないが，ごみ中Clの分析法の検討を今後も行う必要性を明らかにできたと考える。

この共同実験は，廃棄物学会試験・検査法研究部会の活動として行われたことをあらためてここに記します。

参考文献

1）舟阪 渡 編：燃料分析試験法，南江堂（1968）
2）JIS Z 7302－6「廃棄物固形化燃料－第6部：全塩素分試験方法」（1999）
3）中村和史，篠原明義，山口 修：ごみ固形化燃料（RDF）中の塩素分析，第15回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，pp. 495－500（1999）
4）岩崎佑史，鹿田幸雄，野口孝司：ごみ中の揮発性塩素中に占める食塩の影響について，昭和48年度東京都清掃研究所研究報告，pp. 61－77（1975）
5）久保田宏，金谷 健：ごみ焼却炉内における無機塩素化合物からの塩化水素生成反応の熱力学的考察，都市と廃棄物，Vol. 9, No. 12, pp. 19－241（1979）
6）平岡正勝，武田信生，藤田勝康：都市ごみ焼却炉における塩化水素ガスの発生と挙動，公害と対策，Vol. 15, No. 8, pp. 1102－1109（1979）
7）久保田宏，金谷 健：ごみ焼却炉内での塩化水素生成および除去反応の熱力学的考察，公害と対策，Vol. 15, No. 8, pp. 1115－1120（1979）
8）久保田宏，内田重男，局 俊明，片山新太，土谷活美，鈴木哲雄，犬飼 智，加茂 浩：都市ごみ中の揮発性塩素について，都市と廃棄物，Vol. 12, No. 8, pp. 15－23（1982）
9）占部武生：無機塩化合物からのHCl発生反応に関する基礎実験，昭和56年度東京都清掃研究所研究報告，pp. 131－139（1983）
10）全国都市清掃会議：厚生省水道環境部監修廃棄物処理施設構造指針解説，ごみ処理施設構造指針篇，廃棄物最終処分場指針篇，pp. 56－74（1978）
11）馬場芳子：入門講座 有機元素分析のための基礎知識 硫黄，ハロゲン，リン，ぶんせき，1989（10），pp. 778－787（1989）
12）JIS K 7229「塩素含有樹脂中の塩素の定量方法」（1995）
13）ISO 1158：Plastics － Vinyl chloride homopolymers and copolymers － Determination of chlorine（1984）
14）廃棄物学会，試験検査法研究部会，1996年度 報告
15）ISO 587：Solid mineral fuels － Determination of chlorine using Eschka mixture（1997）
16）ASTM D－2361－95：Standard test method for chlorine in coal（1995）
17）廃棄物学会編，廃棄物ハンドブック，pp. 1086－1087，オーム社（1996）
18）廃棄物学会，試験検査法研究部会，1998年度 報告

Comparison of the Methods for Chlorine Determination in Municipal Waste

Nobuhisa Watanabe*, Noboru Tanigawa**, Chiaki Ishikawa***, Minoru Yamamoto****, Hiromu Mae*****, Akiyoshi Shinohara*****, Tsutomu Matsue*****, Shigeo Sato*****, Tomo Oikawa** and Kiyoshi Kawamura*****

* Osaka City Institute of Public Health and Environmental Sciences

** Tokyo Metropolitan Research Institute for Environmetal Protection, Laboratory of Waste Management

*** Sendai City Environmental Bureau

**** Yokohama City, Public Cleansing Project Bureau, Facilities Dept., Office for Development of Waste Reclamation

***** Osaka Chemical Analysis Centre Corporation Ltd.

***** Taiheiyo Cement Corporation, Central Reserch Labolatory, Sakura

***** Shimadzu Techno-Reseach Inc., Analytical section

***** Nippon Institute of Technology, Dept. of Mechanical Engineering

***** Center for Environmental Science in Saitama

† Correspondence should be addressed to Nobuhisa Watanabe : (8－34, Tohjoh-choh, Ten-no-jiku, Osaka, 543－0026, Japan)

Abstract

Determination method of chlorine (Cl) in municipal waste was discussed. Three different methods were presented: quartz tube combustion, bomb combustion and crucible combustion. Analytical results of the quartz tube combustion method were lower than those of bomb and crucible combustion methods. The reason is thought to be the effect of coexisting alkaline (earth) metals such as Na, Mg, Ca and K. Generated chlorides of those metals remained in the quartz vessel or adsorbed the inner surface of the quartz tube, both of which would not be recovered. However, the quartz tube combustion method is able to determine HCl generation through combustion, therefore, it is effective to measure volatile (combustible) chlorine.

Key words : chlorine, municipal waste, bomb combustion, quartz furnace combustion, Eschka method