

「とよっぴー」の成分分析及び重金属含有試験の経年変化の考察

はじめに

大阪府豊中市では、環境保全活動の一環として、学校給食の残渣（食べ残し含む）及び街路樹等の剪定枝を有効利用する観点で、行政と市民（NPO団体）がパートナーシップを基調にしながら有機性土壌改良材（名称「とよっぴー」）の製造並びに活用を図っている。

市民による堆肥化試験の段階から、「とよっぴー」の有効成分や重金属濃度などについて分析を継続して行ってきたことから、得られた知見についてまとめたので報告する。

問題の所在

特殊肥料はその用途が多様であるため性状や有効成分に関する基準は定められていない。しかし、有機性の堆肥類を農地で使用する場合には、主要成分量、重金属類の濃度や使用することによる植物の生育への影響を把握する必要がある。そのため、これらの分析を定期的に検査機関に委託してきた。品質の安全性を確保するためには発芽テスト（基本的には小松菜の育成）、肥料成分量、有害物質の含有量、腐熟度判定、土壌改良効果等の分析調査を実施するとともに、可能な限り活用土壌と非活用土壌との比較追跡調査を実施することが好ましいと考えるが、ここでは、分析結果にみられる「とよっぴー」の品質について経年変化を追いながら解析しとりまとめを行うものである。

考察の基本的視点

評価を導くに際して、重要なことは堆肥としての一般性（外観・臭気・軽重）を前提に、①肥料効果としての有効性分析（腐熟度、PH等）、②重金属類の含有量（安全性）に基づく分析した結果を肥料、土壌等に関係する関連法を参考に検証するものである。

特に、農地で活用する場合は①重金属類を含まない ②重金属類以外の有機系有害物を含まない ③病原菌を含まない ④植物害虫やそれらの卵を含まない ⑤寄生虫やその卵を含まない ⑥雑草の種子を含まない ⑦多量の塩分を含まない ⑧狭隘物が混ざっていない ⑨十分に発酵している ⑩発芽及び生育阻害物質が残らない など厳しい条件がある。したがって、これらをすべて実証する必要があるが、ここでは、分析結果（成分及び重金属類）に限定して評価¹⁾する。

なお、土壌改良に寄与する成分としては有機物、陽イオン交換容量、アルカリ分、PH等がポイントであり、肥料効果としては全窒素、炭素率（C/N比）、リン酸、カリウム等が重要であることから、これらの点を重点的に検証する。

2. 成分検査（カドミウム、砒素、総水銀、亜鉛、銅は含有試験結果で記述）

1) 3要素（全窒素、全リン酸、全カリウム）

【分析方法 全窒素—土壌環境分析法第V章9 全リン酸及び全カリウム—肥料分析法4・2・3及び同4・3・4 定量下限0.1】

肥料成分である窒素は最も高い数値が 2.3%、低い場合が 1.6%である。前者の場合は生ごみの組成（市役所食堂残渣）が 3 回目以降（現在の給食残渣及び剪定枝）と違い参考に過ぎない。したがって、3 回目以降が妥当な数値で、その平均値は 1.81%である。リン酸とカリウムは全分析通じて差がさほどないが、同様に平均値を出すと前者が 0.63%、後者が 1.01%であった。全体に検査日で数値に変動があるが、傾向的にはリン酸の数値が低い特徴がある。食品残渣は一般的に窒素の数値が高く²⁾リン酸及びカリウムは少なく、これに由来するものと考えられる。

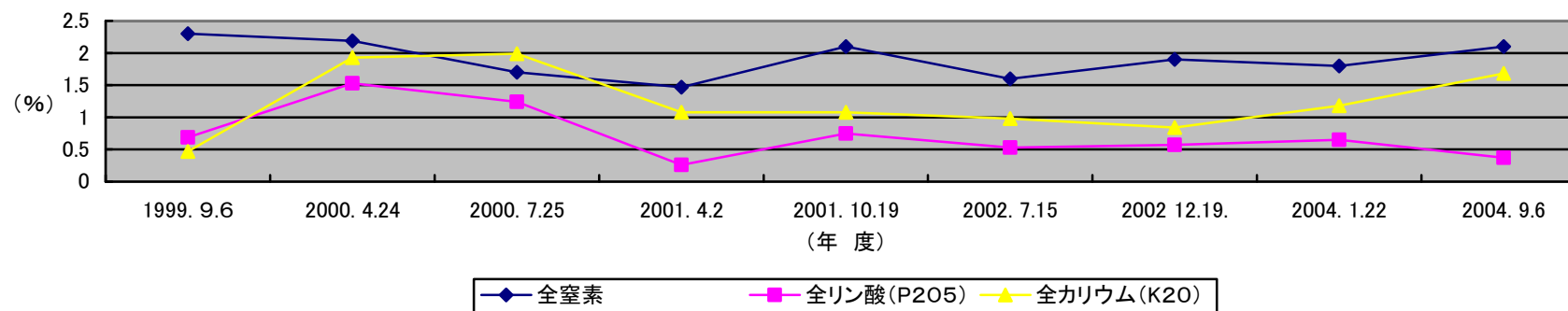
「とよっぴー」の肥料成分は三要素とも数値的に低く、肥料としての有効成分は少ない。肥料としてではなく、むしろ、土壌改良として用いるべきである。ちなみに、有機性肥料等の推奨基準による堆肥の品質基準のうち家畜ふん堆肥は、三要素はそれぞれ 1%以上となっている。

なお、2003（平成 15）年度の大阪府家畜堆肥マップ（大阪府環境農林部農政室発行）³⁾による堆肥生産 50 農家（53 種類）の種別三要素の平均値と比較すると次のような結果である。

表一 堆肥の種別三要素

(単位：%)

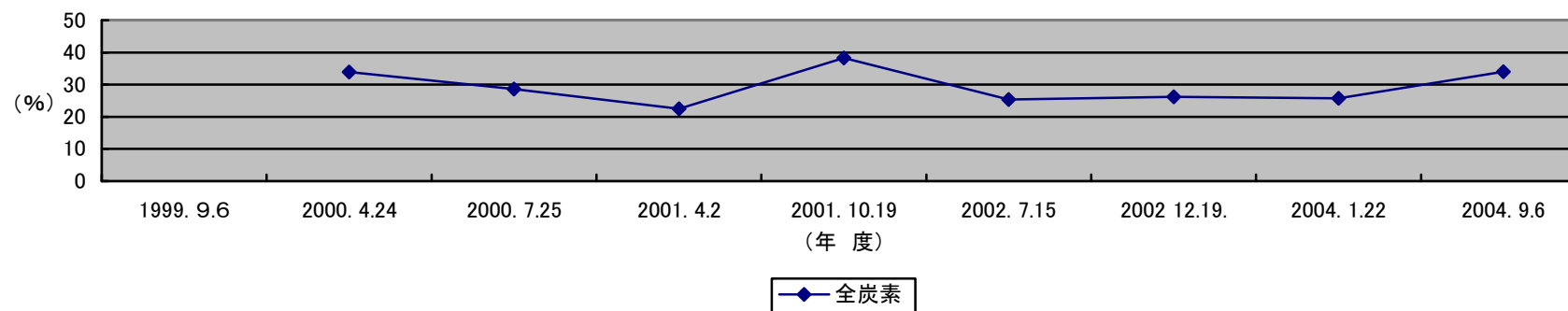
三要素	鶏糞堆肥	牛糞堆肥（酪農）	牛糞堆肥（肉牛）	とよっぴー
全窒素	3.0	2.2	2.0	1.8
全リン酸	6.6	1.8	2.4	0.6
全カリウム	4.0	2.6	4.3	1.0



以上のことから肥料効果には乏しいと結論できる。「とよっぴー」を土壤改良材から肥料としての付加価値を付与するためにはリン酸及びカリウムの添加が必要であると判断できる。この場合、例えば鶏糞堆肥などの有機性肥料の添加が考えられる。

2) 全炭素

【分析方法 土壤分析法第V章8 定量下限0.1】



3) C/N 比

【分析方法 計算値】

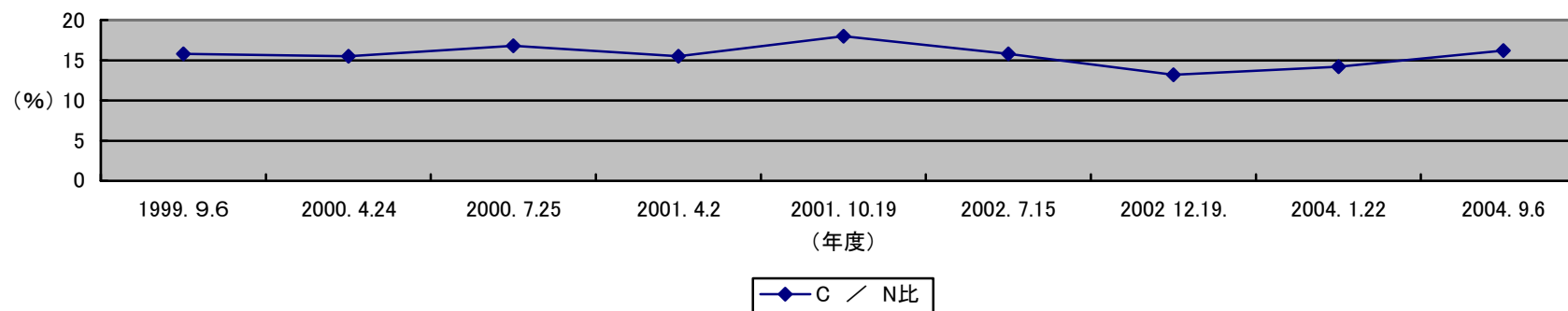
炭素率平均値は 15.7% である。堆肥素材の炭素率⁴⁾ は次のような数値が目安である。

(単位：%)

素材	魚粕	油かす	鶏糞	豚糞	牛糞	わら類・落ち葉	木質	生ごみ	とよっぴー
炭素率	5	5～6	6～7	9～10	15～25	30～70	80～300	10～20	15.7

自然界では有機物は地表に堆積し徐々に分解され最終的に土中に混入されるように、有機物を即刻土中に混入するとわら類のように炭素率が高い素材は窒素飢餓を招来させる。他方、炭素率が低いと有毒ガスや有害物質の発生や病原菌の増殖が起こりやすいといわれる。そのため、炭素率は 10～20% に近づけることが必要で、前出の有機質肥料等の推奨基準による堆肥の品質基準においてもバーク堆肥が最大であるが、それでも 20% 以内となっている。特に炭素率が高い有機質は 20% 以下にすることが不可欠で、「とよっぴー」はすべて

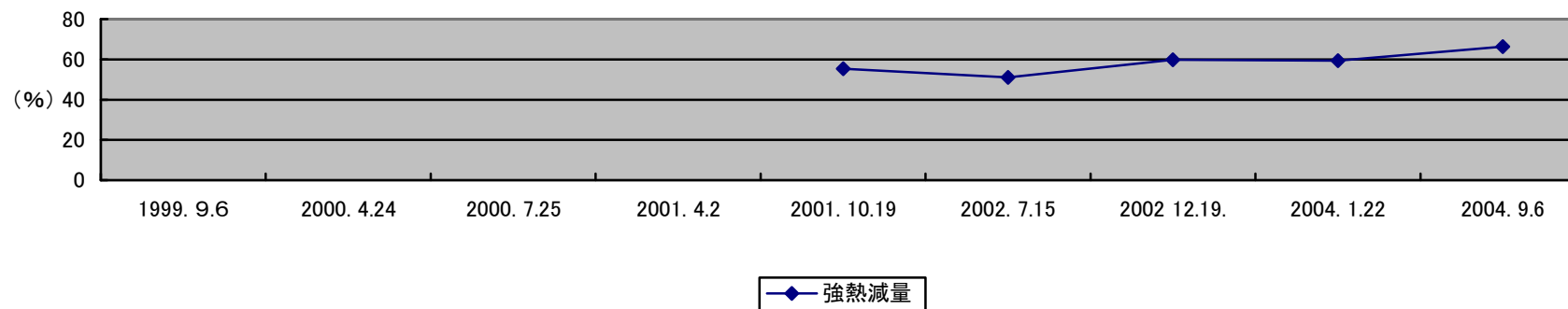
の分析数値がその範囲内にあり、堆肥の完熟時期の関係からも最適に近い数値結果と判断できる。



4) 強熱減量

【分析方法 JIS A1226 (2000) 定量下限0.1】

土壌を高温で焼いた際の減少量で、有機物量に相当する。有機物は土壌の保肥量や団粒化など増進に効果がある。数値的には問題は知見されない。木質部の分解が進行すると数値は上がる。

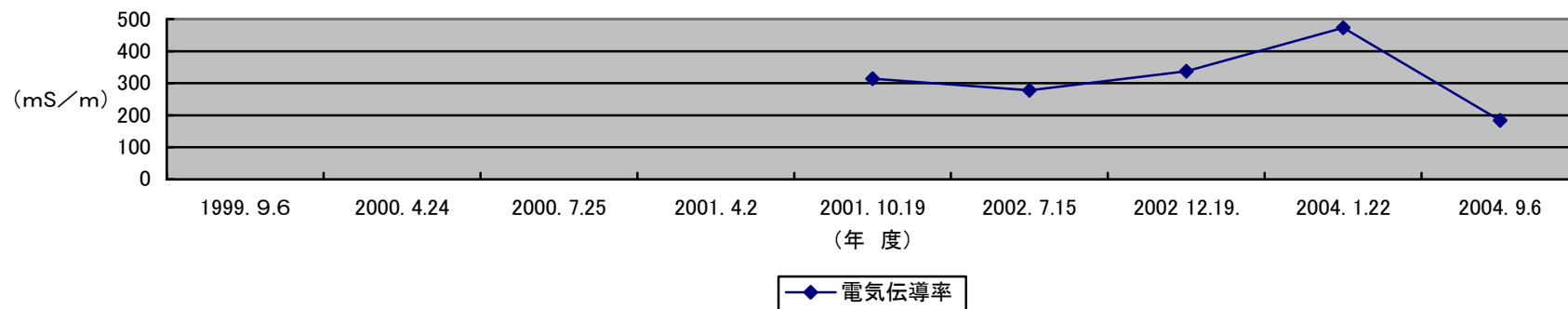


5) 電気伝導率

【分析方法 土壌分析法第V章4】

最高数値で 473m S/m で最低数値が 184m S/m であった。平均値は 317m S/m である。電気伝導率は塩類の濃度に比例するため値が高いと、土壌溶液の浸透圧の上昇により、根の給水阻害や養分吸収阻害が起こる。いわゆる団粒構造が壊され保水性、通気性、透水性が

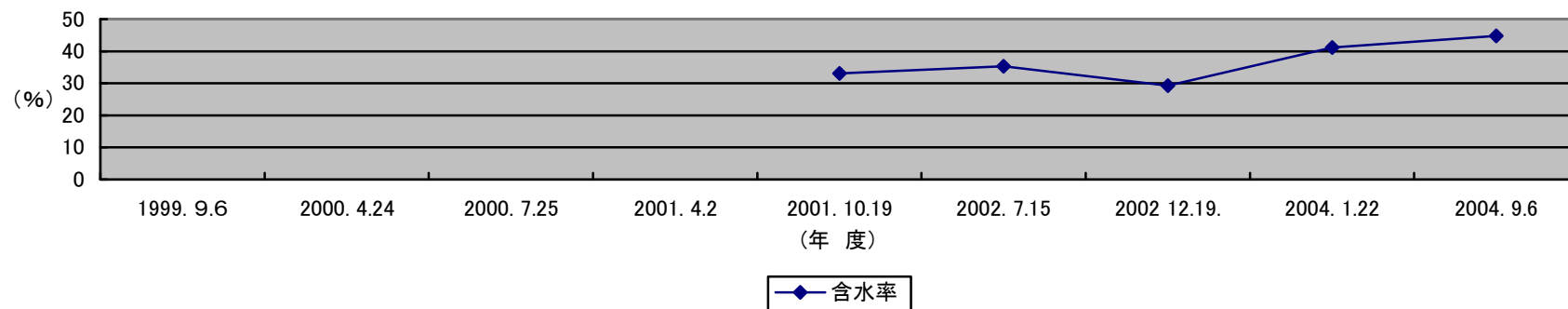
悪化し、根腐れ等植物の生育障害の発生に繋がるとされる。参考例として電気伝導率の推奨基準は、家畜ふん堆肥が 500mS/m 以下、バーク堆肥では 300mS/m以下とされる。平均数値からは問題がない。今後とも測定を継続し変動状態を把握する。



6) 含水率

【分析方法 土壌分析法第Ⅱ章1 定量下限0.1】

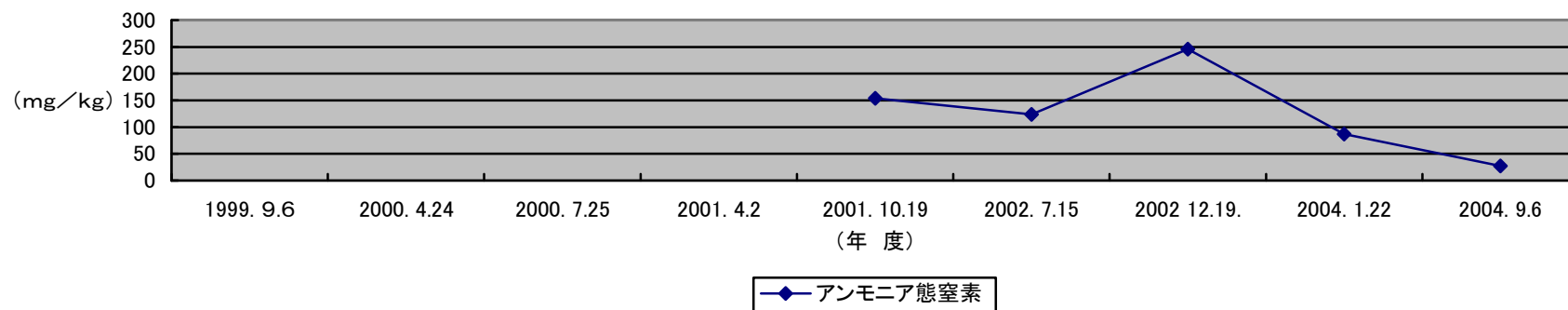
学校給食センターから排出される食品残渣の水分量は 2003（平成 15）年度平均値で 82%、副資材の剪定枝は 42.5%の水分を含んでいる。一般的に食品残渣は 80~90%程度の水分を含有しており、地力増進法の含水率は 60±5%、食品リサイクル堆肥の品質基準での水分は 60%以内とされる。また、事業系生ごみの炭素は、水分平均値は 26%の含有量となっている。これまでの平均値が 36.7%であり問題はない。なお、サンプリングの誤差も数値に微妙に反映する。



7) アンモニア態窒素

【分析方法 土壤分析法第V章9・B 定量下限0.01】

5回目から7回目までは結構高い数値であったが、最近は低い数値で推移している。堆肥が完熟の状態に近づくにつれ数値は低くなる。僅か検出されているのは、検体が完熟の手前での採取されたとも考えられる。

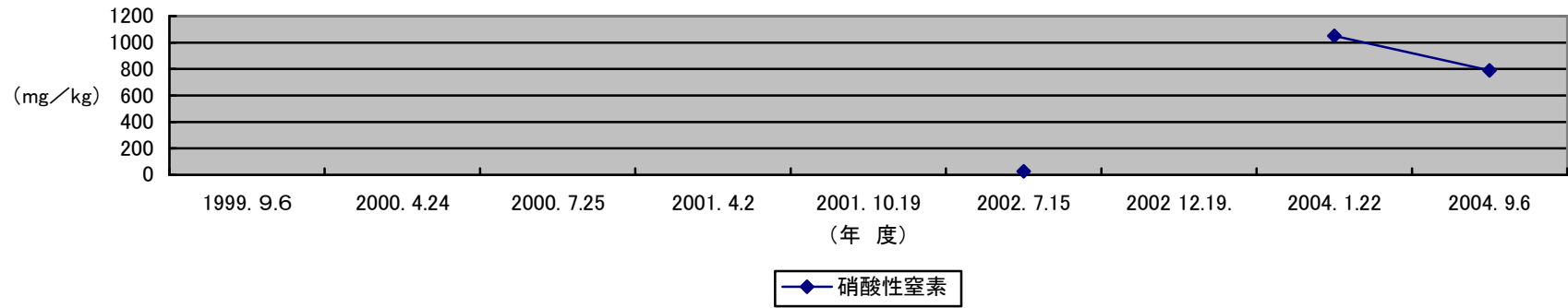


8) 硝酸性窒素

【分析方法 土壤分析法第V章9・D 定量下限0.01】

窒素化合物が酸化してできた最終のもので、腐敗とか酸化を経てこれ以上酸化しない状態を示す数値である。アンモニア態窒素とは逆に、硝酸性窒素の数値は最近高い傾向にある。9回目は789mg/kgと比較的高濃度で検出されている。

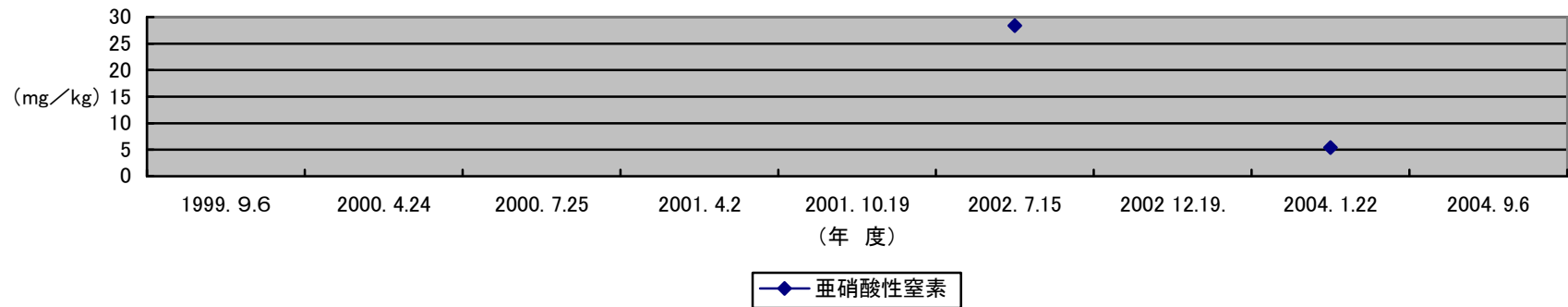
投入原料のうち蛋白質等の含窒素化合物が分解される段階で、アンモニア態窒素が多量に生成されるが、堆肥化の進行にともない細菌の作用によりアンモニアが酸化され、酸化生成物である硝酸性窒素が増加するといわれている。全窒素の増加も要因であるが、堆肥化が進行している証拠でもある。



9) 亜硝酸性窒素

【分析方法 土壤分析法第V章9・C 定量下限0.01】

基本的にはアンモニア態窒素及び硝酸性窒素数値で完熟度（腐熟度）の対応を図るので、定期的に検査していないが、低い濃度であることから問題はないと考える。

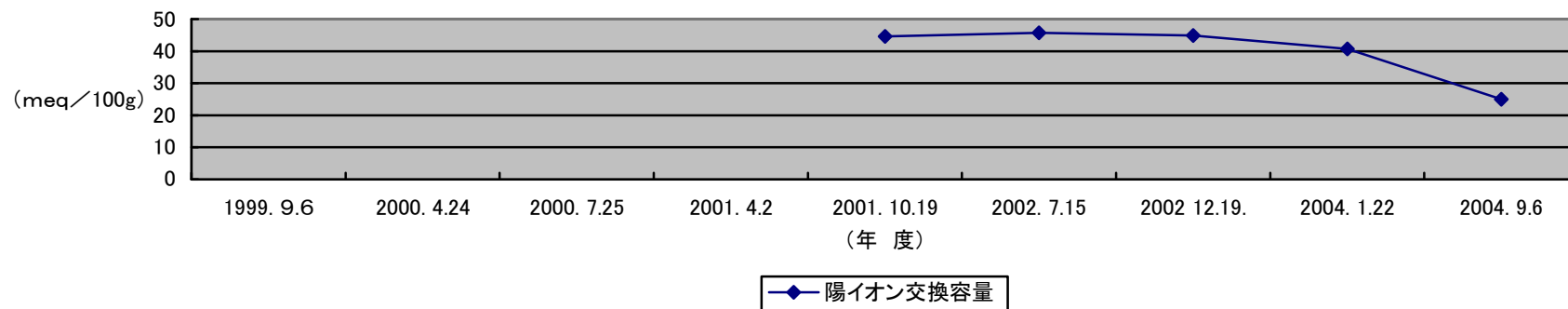


10) 陽イオン交換容量

【分析方法 土壤養分分析法3・2・1 定量下限0.1】

堆肥の有効性を判断する重要な要素である。土壤の肥料の保持量を表しており、堆肥を投入することにより CEC が改善され肥料成分の流亡を避けることができる。バーク堆肥では 70meq/100g 以上が好ましいとされる。5回目から8回目は 40meq/100g 以上で推移してきたが、9回目は若干低い数値となった。実際には「とよっぴー」を施した畑地で土壤分析を行ったところ、CFC の改善傾向が見られ

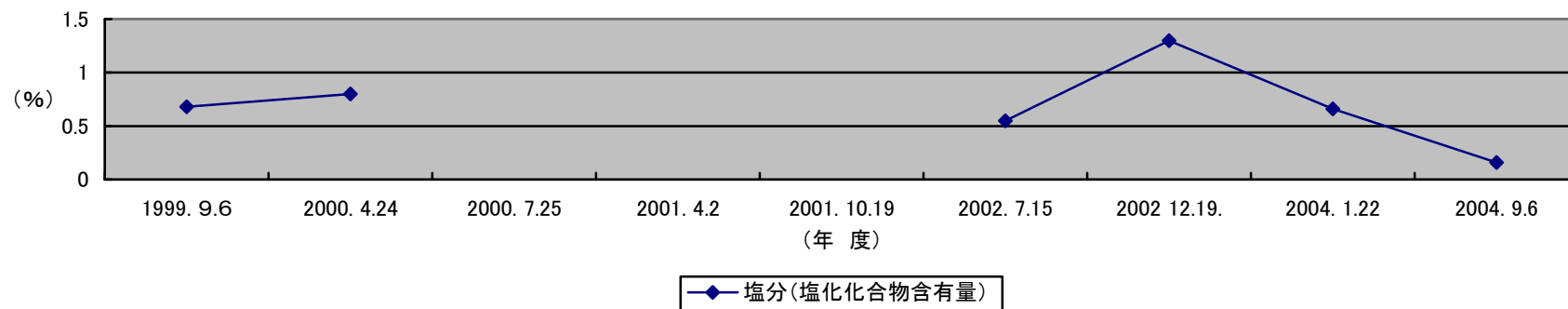
ることから問題はない。



11) 塩分 (塩化合物含有量)

【JGS 0241 (2000)】

土壌の塩類濃度障害を把握する目的で実施する電気伝導度は基準を満足しており、かつ食品リサイクル堆肥の品質基準の塩分は5%以下 (堆肥施用量 1 トン/10a 以下の場合) となっていることから、原料の給食残渣は、水切りを十分行っており、その結果が塩分濃度を下げていると考えられる。



12)PH 値

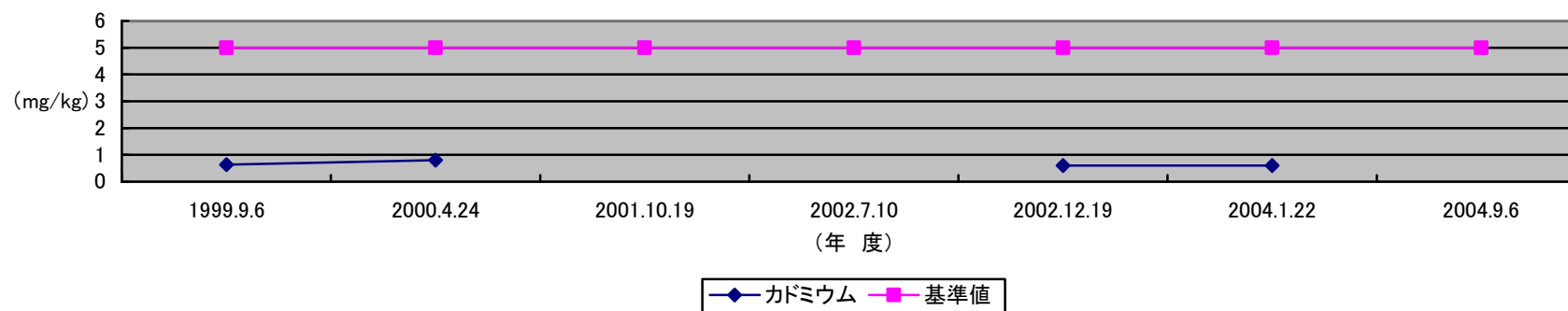
1 回目の検査結果は別として、過去 2 回の結果は若干アルカリ性であるが中性の値を示している。嫌気性発酵による生ごみ堆肥が未熟のまま推移した場合は PH 値は低いが、「とよっぴー」は好気性発酵であり、完熟状態での数値であることから 8 を示している。なお、投入段階の生ごみは 6.4、剪定枝は 7.2、生ごみの混合物は 6.9 であつた。

3. 含有試験結果

1) カドミウム

【分析方法 土壤分析法第 V 章 18・K 定量下限 0.1】

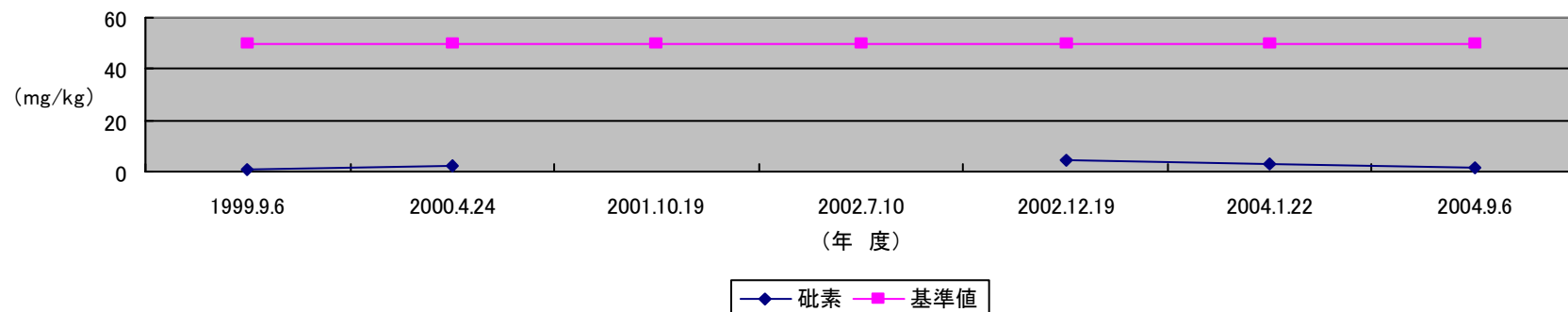
カドミウムや後述する水銀、亜鉛、銅等が過剰に存在すると、人体あるいは食物に有害であり、土壤に吸着すると容易に溶脱しないことから、食品残渣等に紛れ込まないように注意を要する。この間の実際のカドミウム検知濃度は 5 回目以降の平均値で 0.56mg/L である。肥料取締法第 2 条第 2 項の特殊肥料指定の基準値は 5mg/L 以下であり、問題は全くない。



2) 砒素

【分析方法 土壤分析法第 V 章 18・H 定量下限 0.1】

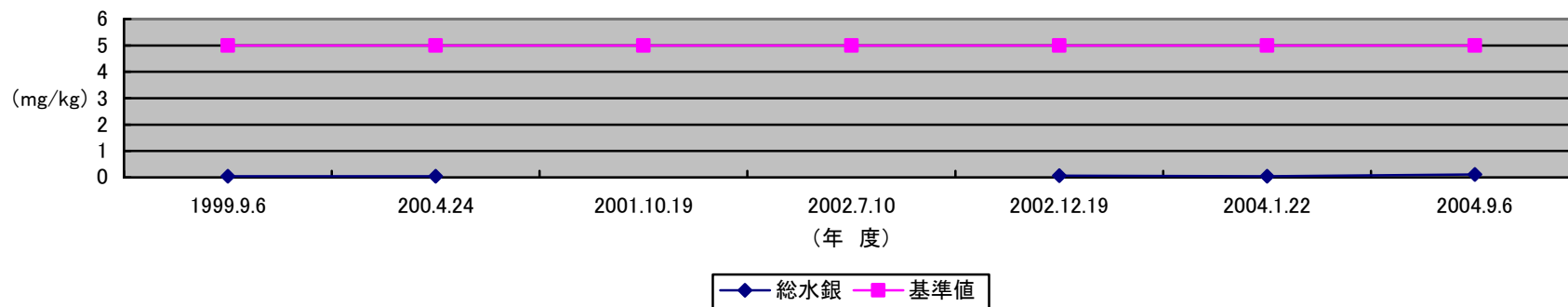
5 回目以降で最も高い数値が 4.9mg/kg、低い数値が 3.2mg/kg であり、平均値は 4.0mg/kg である。肥料取締法第 2 条第 2 項の特殊肥料指定及び有機質肥料等推奨基準による堆肥の品質基準では 50mg/kg 以下である。砒素の濃度は土壤中の濃度（クラーク数 5mg/g）とほぼ変わらない値であり、堆肥を施用することによる土壤中の砒素の濃度が増加することはナイト考えられる。



3) 総水銀

【分析方法 肥料取締法 5.11.1 定量下限 0.01】

5回目以降の平均値は0.7mg/kgである。9回目は0.11mg/kgで今までの中で最も高いが、肥料取締法第2条第2項の特殊肥料指定及び有機質肥料等推奨基準による堆肥の品質基準では2mg/kgであり、数値的には相当低く問題はない。

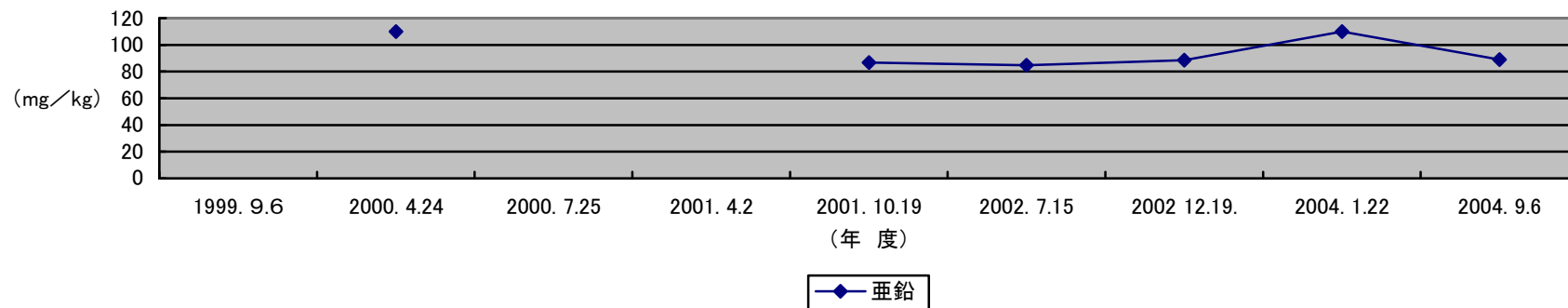


4) 亜鉛

【分析方法 土壤分析法第V章 18・G 定量下限 0.1】

5回目以降の平均値は72.0mg/kgである。8回目に110mg/kgを超えたが9回目はこれまでの数値に戻っている。これも有機質肥料等

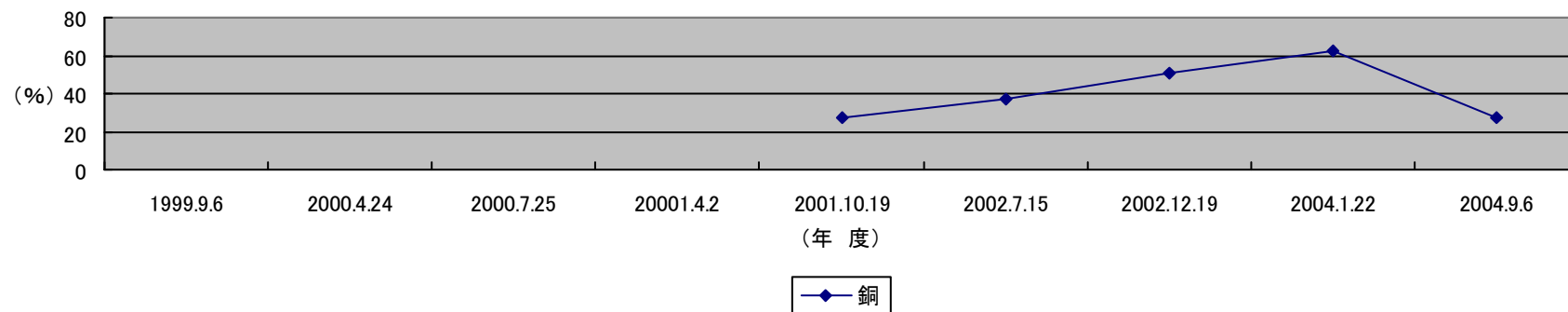
推奨基準による堆肥の品質基準では 1,800mg/kg である。ちなみに、農用地における土壌中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準では、120mg/kg であり、数値的には低い値となっている。



5) 銅

【分析方法 土壌分析法第V章 18・F 定量下限0.1】

検出最大値が 62.4mg/kg、最小値が 26.3mg/kg で平均値は 40.6mg/kg であった。有機質肥料等推奨基準による堆肥の品質基準では 600mg/kg 以下であり、全く問題がない。

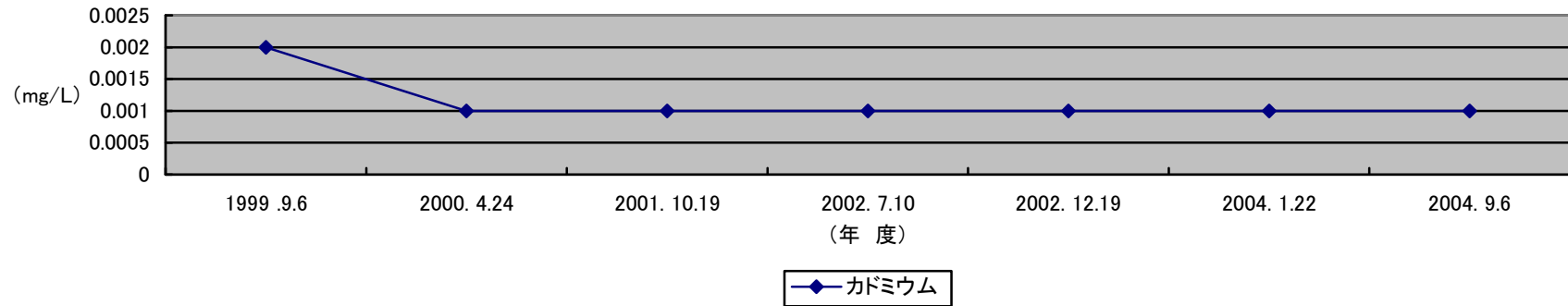


4. 溶出試験

1) カドミウム

【分析方法 JIs K0102 55.2 基準値0.01 mg/L】

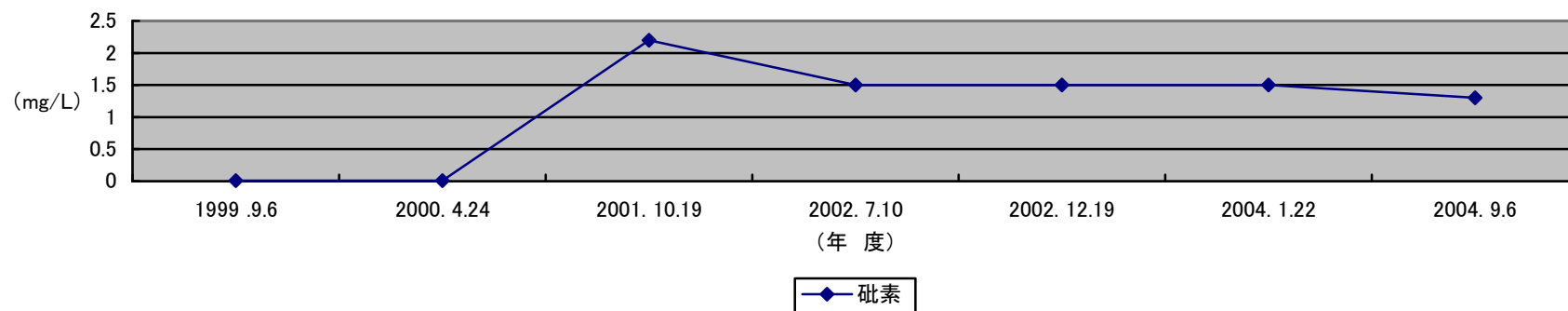
経年的に数値は 0.001 で推移しており問題がない。土壤汚染に係る環境基準である 0.01 よりはるかに低い数値である。この値は、カドミウムの存在量は亜鉛の約 100 分の 1 あること、飲料水中のカドミウムの吸収率は 2～5% であり、0.01mg/L のカドミウムを含む水を 2L 飲んでも尿からの排泄に支障がないことなどに基づいているといわれる。



2) 砒素

【分析方法 総理府令第 31 号 基準値 15mg/kg以下（農用地）】

3 回目以降の平均値は 1.5mg/kg である。土壤汚染に係る環境基準値は農用地で 15mg/kg以下で、数値的には基準値の 10 分の 1 である。過去に鉱山からの排水やばい煙により障害が発生し、「農用地土壤汚染防止法」で規制が行われてきたが、「とよっぴー」を使用することで、砒素の濃度が増加する恐れはないものと考えられる。



3) 全シアン

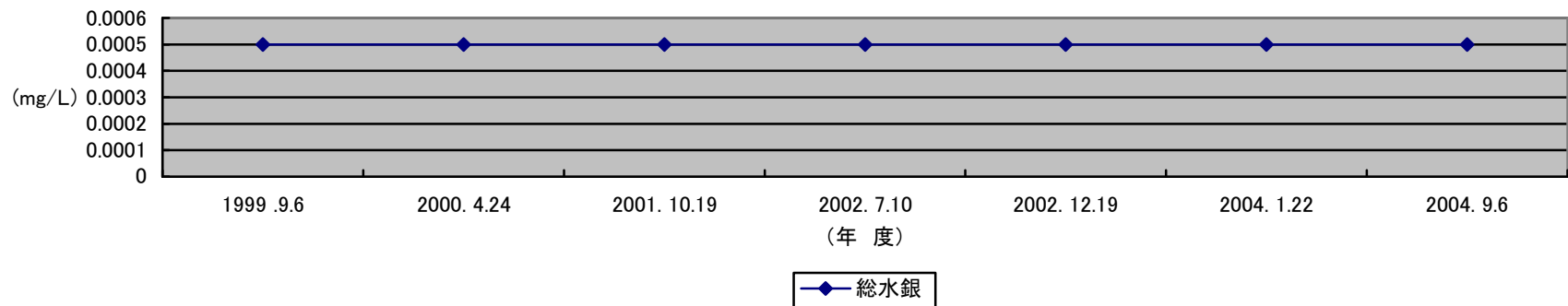
【分析方法 JIs K0102 38.1 及び 38.3 基準値—検出されないこと】

3回目以降の溶出試験すべてが 0.05mg/L 未満であった。基準値は検出されないこととなっているが、これは法令で定められた全シアンの分析方法での定量下限が 0.05mg/L となっているためである。したがって、問題がないものと考えられる。

4) 総水銀

【分析方法 環告第 59 条付表 1 基準値 0.0005 mg/L 以下】

溶出試験すべてが 0.0005mg/L 未満であった。すべてが不検出であることから問題はないものと考えられる。



5) アルキル水銀

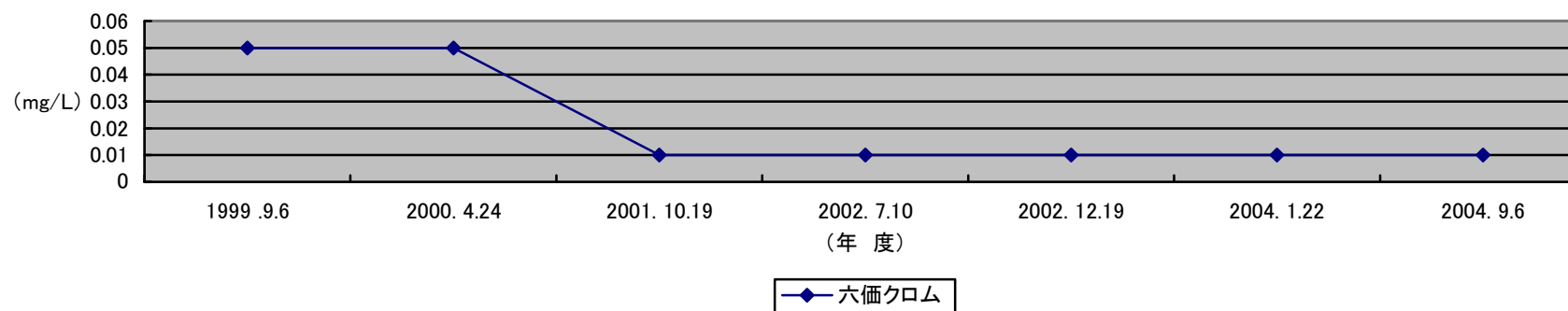
【分析方法 環告第 59 条付表 2 基準値—検出されないこと】

溶出試験すべてが 0.0005mg/L あった。基準値は検出されないこととなっているが、これは法令で定められたアルキル水銀分析方法での定量下限が 0.005mg/L であり、測定機械装置の制度上、測定可能な限界値され、これより低い場合は、検出されないことと同じであることから、問題はない。土壌汚染に係る環境基準値もクリアしている。

6) 六価クロム

【分析方法 JIs K0102 65.2.1 基準値 0.05 mg/L】

1～2回目と3回目以降とは原材料の食品残渣が違っている。前者は市役所食堂の残渣で後者はそれに加えて企業の社員食堂残渣及び生協の野菜くずの堆肥製造による試験結果である。したがって、3回目以降が現在の「とよっぴー」と同様の原材料である。分析結果は 0.01mg/L 未満であり、すべて不検出であり問題ないものと考えられる。土壌汚染に係る環境基準値もクリアしている。



7) PCB

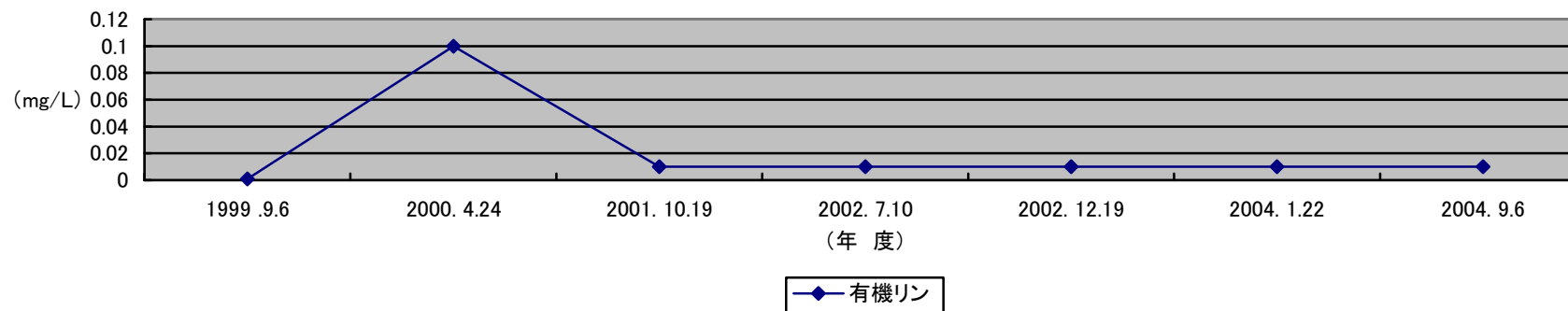
【分析方法 環告第 59 条付表 3 基準値—検出されないこと】

溶出試験すべての結果が 0.0005mg/l であった。基準値は検出されないこととなっているが、これは法令で定められた PCB の分析方法での定量下限が 0.0005mg/l となっているためである。したがって、問題がないものと考えられる。

8) 有機リン

【分析方法 環告第 64 条付表 1 基準値 0.0 1 mg/L】

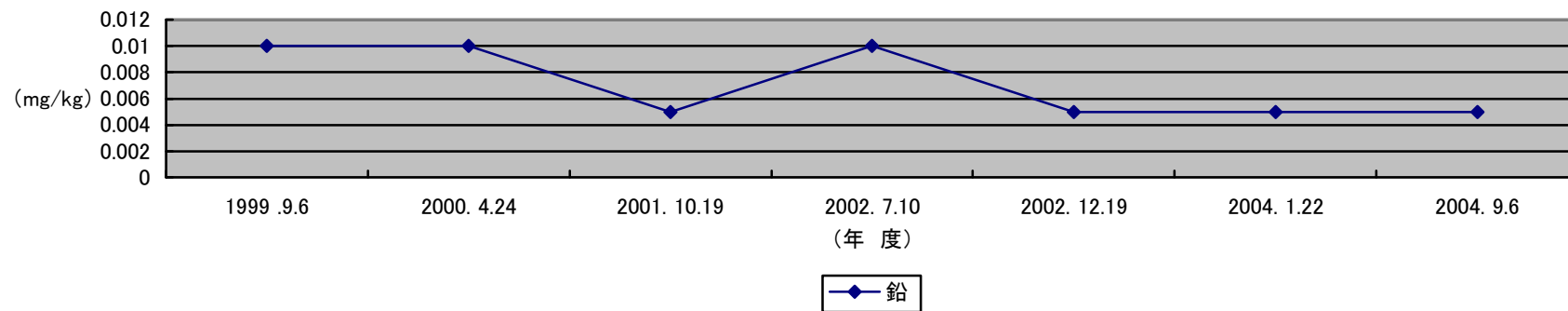
3回目以降は0.01mg/L未満であった。基準値は検出されないこととなっているが、これは法令で定められた有機リンの分析方法での定量下限が0.01mg/Lとなっているためである。したがって、問題がないものと考えられる。1～2回目は分析機関の相違により定量下限値が異なっているが、いずれも不検出である。



9) 鉛

【分析方法 JIs K0102 54.2 基準値0.01 mg/L】

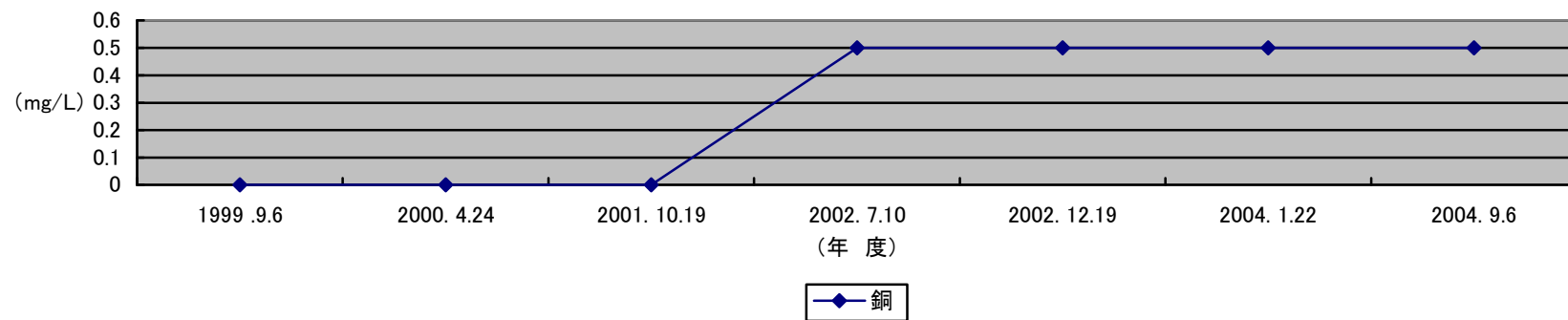
鉛については、汚泥肥料等では金属等を含む産業廃棄物に係わる判定基準を定める総理府令（昭和48年総理府令5号）の別表6の基準を適合することが求められており、具体的な鉛の基準値は0.3 mg/Lである。一方、土壤汚染対策法や環境基準値は鉛の基準が0.01 mg/Lとなった以外は不検出であり、肥料取締法上の基準値及び土壤汚染の環境基準をともに下回っており、問題ないと考えられる。



10) 銅

【分析方法 総理府令第 66 号 基準値 125mg/kg 以下】

試験結果はすべて 0.5mg/kg であった。土壤汚染に係る環境基準値は 125mg/kg であり、数値的には非常に低い結果となっている。



5. 総括

成分分析及び重金属類の含有、溶出試験結果を肥料取締法、土壤汚染に係る環境基準（農用地の土壤含む）、有機質肥料等推奨基準、食品リサイクル品質基準（重金属類含む）、生ごみ処理機による処理品の品質基準、等との関連を参考にしながら試験結果を考察した。

概観すると、特徴としていえることは有機物含有量（記述していないが、以前の調査では 83.2%）、陽イオン交換容量の数値、PH 値からは土壤改良材としての品質を備えていることが判明した。他方、肥料としては三要素の数値とバランスからは肥料効果が薄いことが結論付けられた。土壤改良効果との関係での重金属類の含有量に関しては、ここに挙げた各種の品質基準に抵触するような数値が検出されていないことから、安全性では心配ないと判断される。

食品残渣の場合、とりわけ給食食材は日々、献立が変化することや特に米飯給食の実施日等で投入原料が変わるため、品質に差異が生じることが考えられたが、概ね一定な数値で検出されており、堆肥化システムは安定して機能していると考えられる。

なお、各種基準との比較考察の詳細は別述した。また、最近では堆肥化の進行が順調に推移していることが数値から読み取れるが、これに関しては腐熟度判定を参考の別述することにした。

注：2000年9月6日分の成分分析方法は炭素率、強熱減量及び塩化物含有量を除き、堆肥等有機物分析法Ⅱに対応した検査である。

引用及び参考文献

- 1) 片倉チッカリン（株）生ごみ処理機による処理品の品質基準 1999年
- 2) 大阪府発行「大阪府家畜堆肥マップ」平成15年版
- 3) 片倉チッカリン（株）筑波総合研究所
- 4) 岩田進午・網島不二雄監修『これでわかる 生ごみ堆肥化』合同出版 2002年

環境庁環境法令研究会編集『環境六法』中央法規出版 1997年
有機質資源化推進会議編『有機廃棄物資源化大事典』農文協 19997年
小島貞男・相澤金吾共著『新水質の常識』日本水道新聞社 1993年
伊達昇・塩崎尚郎編著『肥料便覧』農文協 2003年