

災害廃棄物・再生資源物品等の熱危険性評価 および安全対策に関する研究

危機管理学専攻 氏 名 村 沢 直 治

1. 本研究の意義と目的

社会の発展に伴って、危機管理・リスク管理の重要性は日々高まってきている。また、最近では、環境負荷を低減し、少ない資源を有効活用して、再利用する循環型社会の構築が求められている。この循環型社会の確立には、廃棄物や再生資源物品等を取り扱う産業の存在が重要であると考えられる。

しかし、それらの産業は、化学物質などを取り扱う産業と比較して、設立から日が浅く、危機管理・リスク管理に関わる有識者の数もあまり多くないように見受けられる。実際にそれらの産業では、労働災害はもちろん、自然発火（人為的に火をつけることなく出火する現象）に起因する火災や爆発が発生しており、死者や負傷者も発生している。

予期せぬ自然発火に起因する火災や爆発を発生させてしまう理由として、廃棄物や再生資源物品等は、微生物を大量に含んでいる可能性が高くそれらの活動により、発熱し温度上昇後、火災や爆発に至っている可能性が高い。

また、廃棄物や再生資源物品等に関しては、研究事例があまり多くなく未解明の部分が多いため、得られた結果を類似事故防止に役立てるように、活用しやすい形で整理し、得られた知見や教訓を類似の事故が発生した場合の対応や「事前」の安全対策として生かしていくことが望ましいと考えられる。

そこで本研究では、微生物活動に伴う発酵によって発生した、以下に示す3つの事例を対象として調査・実験・研究を行い、危機管理・リスク管理を行っていく上で必要となる、基礎的なデータを取りまとめ、その結果を基にして今後の安全対策を立案することを目的とした。

- ① 東日本大震災により、大量の災害廃棄物が生じた。その結果、被災地では仮置き場が数多く設置された。しかし、東北地方の仮置き場で、40件以上の火災が短期間の内に相次いで発生した。当初、微生物が繁殖しやすい種類の災害廃棄物が、発酵によって発熱後に蓄熱し、自然発火に至っている事などが、原因の1つとして推定された。そこで、宮城県にある、複数の仮置き場で現地の消防本部や行政担当者と合同で調査を行った。また、火災現場より試料の採取を行い、火災を起こさないためには、どのような安全対策を行えばよいのか等の安全対策を立案することを目的として進めた。
- ② 銚子市の地場産業から排出される廃棄物や再生資源物品等として、醤油かすと魚粉があ

る。それらは、貯蔵中に発酵によって発熱し蓄熱後、自然発火を引き起こしている。また、北海道苫小牧市にある醤油かすが貯蔵されている倉庫内で、発酵によって酸素が消費され、作業員が酸欠症状を起し、死亡するという事故も発生している。そこで、苫小牧市消防本部と合同で死亡現場の検証を行い、酸欠の原因と推定された醤油かすを採集し、銚子市から排出される醤油かすとの比較を含めて、自然発火と酸欠に至る違いを明らかにし、それらを防止するための安全対策を立案することを目的として進めた。

- ③ 現在、代替燃料の候補の 1 つとして、再生資源燃料等が注目されている。しかし、廃棄物から製造されている再生資源燃料は、微生物が繁殖しやすいものも多く、三重県のごみ固形化燃料発電所においては、RDF (Refuse Derive Fuel) が自然発火を引き起こし、爆発に至り消防隊員 2 名が死亡するという事故を発生させている。原因究明は引き続き行われているが、いまだ明らかとなっていない部分も多い。ここでは、数種類の新規開発された、廃棄物から製造されている再生資源燃料を用いて、自然発火やそれに起因する事故を防止するための安全対策を立案することを目的として進めた。

2. 危機管理・リスク管理の重要性とその違い

危機管理・リスク管理の重要性が高まってきていると述べたが、危機管理・リスク管理の概念は、きわめて複雑であり、その本質を迫するには、哲学的な思想も要求されてくる。また、危機管理・リスク管理には次の 3 つの要素が同じく含まれている。

- ・事前対策 あらゆる危機の発生を事前に想定し、その発生を未然に防止するための予防策を講じる。もしくは、危機の発生を前提として、それによって生じる被害を最小限とするための予防策を講じる。
- ・直後対応 危機が発生した際に、被害を最小限に食い止め、即座にそれに対応し安全な状態に回復させるために講じる緊急の対応策。
- ・事後対応 危機がおさまった段階でそれを完全に解決または克服し、二次被害や再発防止へ向けた中・長期的な対応策。また、得られた教訓を生かした教育活動も行う。

使い分けとして、危機管理は、重大な被害が出現する恐れがある事態、またはそれが現れた段階において、防御・回避等の緊急対応を行い、被害を最小限とする行為であり、リスク管理は、発生する可能性のあるリスクを洗い出し、それらを防止するための予防策や発生した場合を想定して、いかに合理的に被害軽減策を構築するか、という行為であると考えられる。それらを参考に、危機管理・リスク管理の主な違いについてまとめたものを表 1 に示す。

表 1 危機管理・リスク管理の違い

	危機管理	リスク管理
概念	即応対応	事前対策
対処方法	臨機応変	予測・想定
判断方法	独断	総意
処理・判断時間	短い	長い
経費	費用度外視	費用対効果
基盤	総合力	専門性

3. 現地調査の重要性と事故原因等の立証要領

危機管理・リスク管理を行っていく上で、現地調査は重要な要素を持っていると考えられる。危機管理・リスク管理を行おうとする者は、自分以外からの意見や情報のみを鵜呑みにするのではなく、定期的に自らが担当する場所の調査や視察を行い、その情報を自身の安全対策等に還元していかなければならない。また、現地調査の妥当な回数は一概には言い表すことは難しいが、複数回行うことが望ましいと考えられる。

事故原因の検証を行っていく過程においても、現地調査を行うことは必須であり、その立証を進める過程においては、事故前の状況、事故発生時の状況、作業工程等を関係者から聴取する必要がある。

事故原因の立証過程において、難しい項目の1つとして、事故原因の見極めを正しく行い、それに至るシナリオを明らかにできるかということが挙げられる。特に火災等の原因調査の場合、詳細な検証を行っていく過程においては、試料を採取する必要性が出てくる。そして、採取を行った試料の性質（化学反応性の有無や燃焼の形態）、物性定数等（引火点・発火点・最小着火エネルギー・燃焼範囲・沸点・比重）を調べ、それらを前提に図2に示す要領で検証を行うことが望ましいと考えられる。



図2 火災原因の立証要領

4. 発酵熱に起因する自然発火

今回調査の対象とした自然発火とは、「物質が空気中で比較的低温度で何らかの要因により、自然に発熱し、その熱が蓄積されて温度上昇後、発火に至る現象」と定義されている。大量に堆積または貯蔵されている物品が、発酵熱によって自然発火に至る場合、第1段階として、堆積または貯蔵されている物品が、発酵を開始することによって微小な発熱を発生させるようになる。本来であれば、この発生した熱は大気中へと徐々に放熱されていくが、特に大量堆積物の中心部分の場合、表面部分と比較して断熱状態（熱の蓄積条件）がよくなりがちである。このため、堆積場所の環境温度が室温付近または以下であっても、内部で徐々に温度上昇が起これ、やがて熱の発生速度が外部への放熱速度を上回った場合には、温度上昇がさらに進行し、火災へと至る可能性が高いと考えられている(図3)。また、温度上昇の過程において、可燃性ガスが発生し何らかの火源によって爆発を起こすこともあると考えられている。



図3 発熱と放熱の関係

5. 熱危険性評価手法を用いた検討

大量に堆積または貯蔵された物品が、自然発火に至るかどうかの評価を行う既存の手法として、実物大規模またはミニチュアを作成し、測定を行うという手法が存在する。

しかし、この手法は費用が高く(費用度外視)、時間も長がかかり(最大で1ヶ月以上)、再現実験の回数を多くこなすことが難しい。かつ、測定中に火災や爆発を引き起し、有毒ガスを大量に発生させる可能性が高いという問題点が存在する。

今回目指したのは、表1に示す、危機管理・リスク管理の両側面の利点となる部分を満たし、短時間で結果を得て、そこから安全対策の立案を行っていくことである。そのため、様々な高感度熱分析装置を組み合わせ、試料の測定を行い、その結果から、潜在的危険性の抽出と安全対策の立案を行う、「熱危険性評価手法」を選択した。

熱危険性評価手法は、化学物質を取り扱う業界において、取り扱う物質の熱安定性の評価に応用されており、得られた結果は、火災・爆発を未然に防ぎ、プラントの設計や安全対策を立案する上で重要であるとされている。同手法の利点は、短時間(最大で1週間)で物性の把握ができ、臨機応変にその物性に合わせて追加検証が可能であること、測定中の火災や爆発等の事故を抑制し、比較的安全に行えることである。

この手法を廃棄物や再生資源物品の安全性の評価に応用している例はあまり多くないため、研究を通して得られるデータは新規性が十分有り、学術的価値があるものであることが考えられる。もし、この手法で有効な結果が得られれば、廃棄物や再生資源物品等を取り扱う業界においても、化学物質を取り扱う業界の失敗や事例を参考にし、自身の業界に還元することができ、より安全に活動を行っていくことが考えられる。

6. 結果と安全対策

以下に熱危険性評価手法を用いて得られた結果と立案を行った安全対策の例を示す。

6.1 室温付近からの熱挙動の検討 (C80)

C80は、グラム単位の試料の熱量測定が可能な、双子型の高感度な熱流束型熱量計である。ここでは、室温から100℃までの詳細な熱挙動と発熱の有無の確認を行うため、約1500mgの試料を用いて、昇温速度0.1 K/minとし、耐圧密閉型試料容器(8 ml)を用いて、含有水分の蒸発を抑制させながら、300℃までの温度範囲で温度上昇させた。結果の一覧を図4～図9に示す。

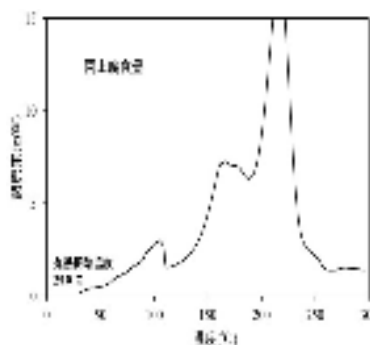


図4 関上腐食量 結果

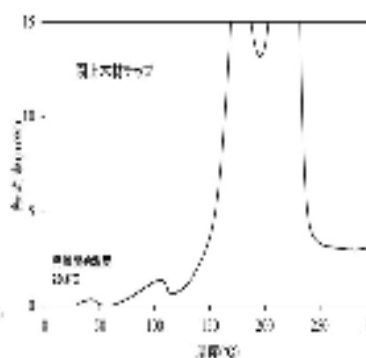


図5 関上木材チップ

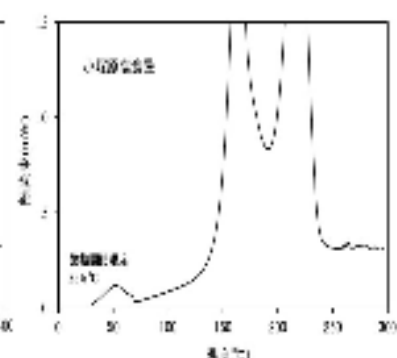


図6 小塚原腐食量

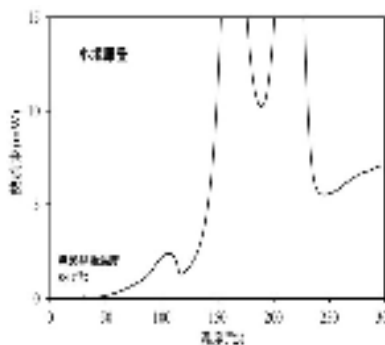


図 7 小塚原量

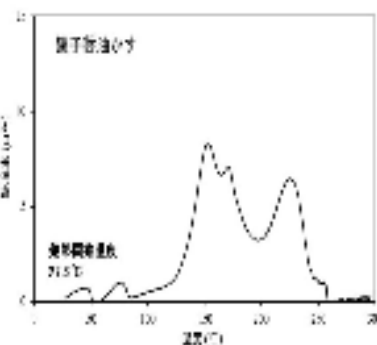


図 8 銚子醤油かす

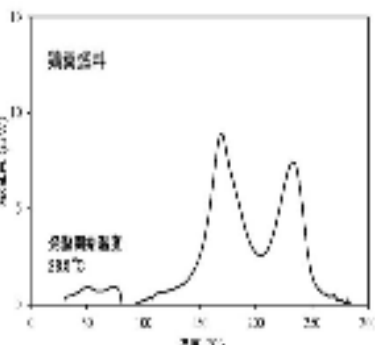


図 9 鶏糞燃料

いずれの試料も、測定開始直後から、発酵によって引き起こされたと考えられる発熱の開始が見られた。80℃以下から100℃の温度領域では、含まれる脂肪酸エステル等の酸化によるものと考えられる発熱が観測された。それ以降の温度領域では、含まれる有機物の熱分解によるものと考えられる発熱が観測された。これらの物品の発熱から発火へのプロセスとして、まず、微生物の活動によって発酵が起こり発熱が始まる。そして徐々に温度が上昇していき、微生物の活動が不活性となっていく、含まれる脂肪酸エステル等の酸化が始まる。その後、さらに温度が上昇して火災に至ることが考えられる。

例えば、C80の結果をもとに、災害廃棄物の仮置き場では、次のような安全対策を行うことが望ましいと考えられる。堆積物内部の温度が、室温以上50℃以下であった場合は、発酵が始まっている可能性がある。発酵による発熱は小さなものであり、この段階で堆積物を切り崩し、放熱処理を行えば、火災に至る可能性は低くなることが考えられる。50℃以上80℃以下であった場合は、発酵と脂肪酸エステル等の酸化が起こっている可能性が高い。これらの反応による発熱量は発酵によるものより大きく、この段階では、すでに蓄熱が進行しており、早急な対処が必要となってくる。

また、この段階で放熱処理を行うために、堆積物を安易に切り崩すと蓄熱部分に対する酸素供給量が増え、放熱量を上回り急激に温度が上昇して、火災に至る可能性が高まることが考えられる。ここでは、堆積物全体や法面(図10)を土砂で覆い酸素の流入量を抑制し、温度が低下するまで保つか、堆積物の切り崩しを行うといった対応が望ましい。もし、放水による冷却を行う場合には、その後の発酵に十分注意を払う必要がある。



図 10 C80の結果より得られた安全対策

6.2 発酵による発熱挙動の検討 (TAM)

TAMは任意の温度で等温保持した際の、時間変化に伴う熱の活性の測定を行うことが可能である。約1000mgの試料を密閉型試料容器に入れて、50℃で3日間等温保持し、発熱量の測定を行った。また、含有水分がどの程度影響を与えるのかの検討も行うため、試料量

に対して蒸留水 20 %を添加したものについても測定を行った。結果の一覧を図 11～図 16 に示す。また、時間変化に伴う発熱量をまとめたものを表 2 に示す。今回の発熱量は、測定開始 24 時間後、24 時間後から 72 時間後、及び両者の合計をまとめた。

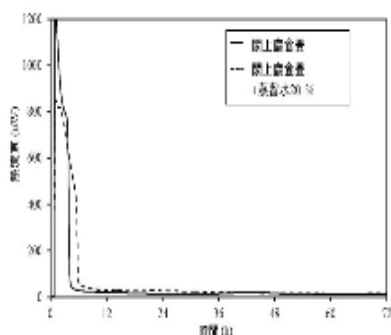


図 11 閑上腐食量 結果

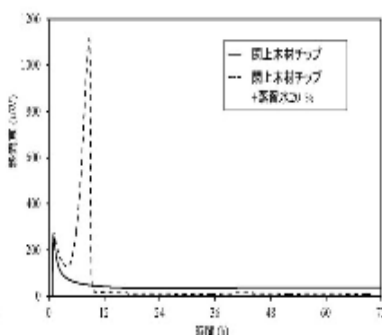


図 12 閑上木材チップ結果

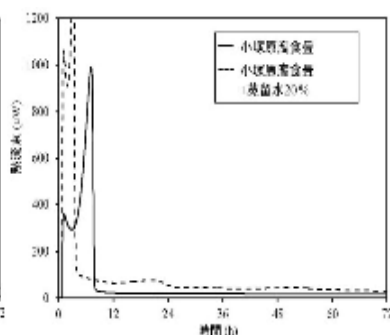


図 13 小塚原腐食量結果

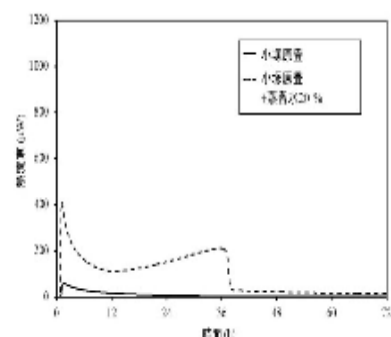


図 14 小塚原量結果

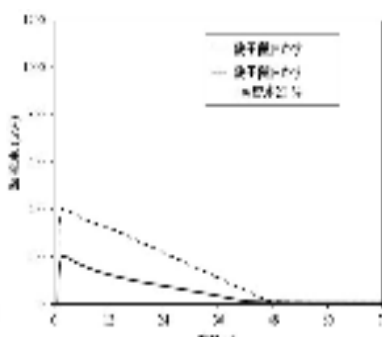


図 15 銚子醤油かす結果

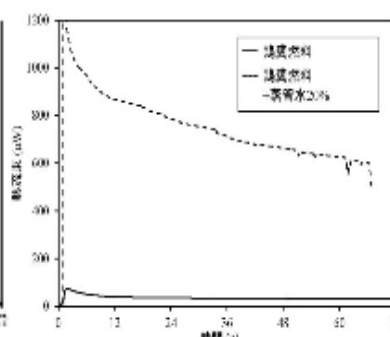


図 16 鶏糞燃料結果

例として、図 13 の小塚原腐食量の熱挙動を見ても、測定開始直後に発熱し、数時間後に急激に発熱量が増加していく傾向がみられた。これは時間経過に伴って、微生物の活動が活発となっていくためと考えられる。その後、急激な発酵によって密閉型試料容器内の酸素を消費してしまい、発熱が終息していくという傾向がみられた。酸素が少なくなると発熱が終息していくという結果からみて、好気性の発酵である可能性が高い。

水分を添加して測定を行った場合、違いが大きく現れたものと、そうでないものがあった理由としては、初期の含有水分量が大きく影響していると考えられる。その理由として、潜在的に微生物を有してはいるが、微生物が活動するための十分な水分が足りなかったことが挙げられる。

表 2 TAM 測定による発熱量

試料名	発熱量 (J/g) 0～24時間	発熱量 (J/g) 24～72時間	発熱量 (J/g) 0～72時間
閑上腐食量	11.59	2.24	13.83
閑上腐食量 + 蒸留水20%	13.88	3.11	16.99
閑上木材チップ	4.76	6.30	11.06
閑上木材チップ + 蒸留水20%	12.28	1.88	14.16
小塚原腐食量	13.76	3.06	16.82
小塚原腐食量 + 蒸留水20%	16.31	6.54	22.85
小塚原量	2.13	1.21	3.34
小塚原量 + 蒸留水20%	13.18	11.17	24.35
銚子醤油かす	11.05	4.23	15.28
銚子醤油かす + 蒸留水20%	14.38	2.53	16.91
鶏糞燃料	3.67	5.68	9.35
鶏糞燃料 + 蒸留水20%	80.38	96.82*	177.2**

*24～64 時間 **0～64 時間

6.3 堆積・輸送時における発生ガスの検討（GC）

C80 と TAM を用いた測定結果より、今回用いた災害廃棄物・再生資源物品等に関して、50℃までの温度領域においては、発酵が温度上昇に対して影響を与えている可能性が高いという結果となった。

貯蔵・輸送時の安全性の指標の 1 つとして、熱の発生以外に、ガスの発生が挙げられる。苫小牧市で発生した酸欠死亡事故、三重県で発生した自然発火に伴う爆発事故を考えれば、貯蔵・堆積時における発生ガスの検討は重要であると考えられる。そこで、約 50g の試料を 10 のガラス瓶中に詰め、25 ± 5℃ の環境下で約 10 日間密栓保持した後、発生ガスを採取し、ガスクロマトグラフ により分析を行った。

今回検出の対象としたガスは、貯蔵時に発生する可能性の高い可燃性ガスとして、一酸化炭素・メタン・水素・エタン、発酵に伴って発生するガスとして二酸化炭素 の 5 種類とした。GC 分析による結果を表 3 に示す。

結果を見てみると、今回用いたいずれの試料に関しても、大量の二酸化炭素の発生が観測された。また、水素やメタン等の可燃性ガスが観測されたものもあった。

水素やメタン発生の理由として、好気性の発酵以外に、嫌気性の発酵が行われている可能性が高い。

災害廃棄物の屋外仮置き場では、たとえ、可燃性ガス等が発生しても、大気中へ飛散して濃度が徐々に低くなっていくため、それらのガスに対する危険性はそこまでは高くはないことが考えられるが、今後密閉性の高いコンテナ等で陸路や空路を用いて輸送等を行う場合には、注意が必要となってくることが考えられる。

また、C80 と TAM から得られた結果とも合わせて考えてみると、例えば災害廃棄物の場合、堆積物にパイプを打ち込み（図 17）、放熱を行うとともに、簡易的なガス検知管等も同時に組み合わせて、発酵や温度上昇に伴って生じるガス（二酸化炭素・水素・一酸化炭素・メタン等）のモニタリングを行うことも有効であると考えられる。

表 3 GC 測定による結果

試料名	GC測定結果（％）					
	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
閑上腐食量	1.49	73.26	1.12	-	-	18.45
閑上腐食量 +蒸留水20%	1.55	69.62	0.03	-	-	22.78
閑上木材チップ	5.34	77.79	-	-	-	12.11
閑上木材チップ +蒸留水20%	1.47	78.53	0.08	-	-	14.41
小塚原腐食量	1.75	77.43	0.08	-	0.06	17.32
小塚原腐食量 +蒸留水20%	0.98	72.81	0.10	-	0.08	20.19
小塚原量	19.23	77.98	-	-	-	0.12
小塚原量 +蒸留水20%	13.59	77.55	0.02	-	-	5.52
銚子醤油かす	1.71	79.38				16.08
銚子醤油かす +蒸留水20%	1.66	79.12				18.19
鶏糞燃料	9.53	70.12	-	-	-	14.20
鶏糞燃料 +蒸留水20%	1.48	73.76	0.27	-	-	21.99



図 17 GC の結果より得られた安全対策

さらに、今回の GC 測定において、苫小牧市の酸欠死亡現場より採取を行った醤油かすに
 関しては、追加測定を行った。C80 と TAM より得られた結果を考慮して、保持する温度を
 5℃から 50℃まで変化させ、それぞれの場合において、発生ガスを採取し測定を行った。
 保持温度に対して酸素濃度と二酸化炭素濃度をまとめたものを図 18～図 19 に示す。また、
 酸素濃度と身体に現れる症状をまとめたものを表 4 に示す

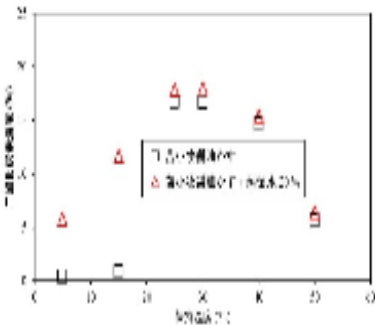


図 18 保持温度と二酸化炭素
濃度の関係

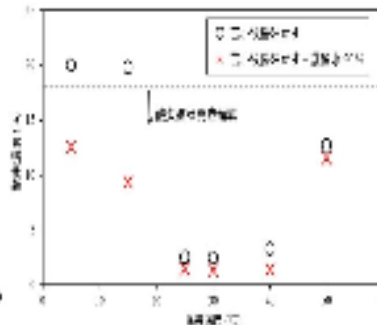


図 19 保持温度と酸素
濃度の関係

表 4 酸素濃度と症状

酸素濃度 (%)	症状
16 ～ 12	脈拍・呼吸数の増加、耳鳴、精神集中に努力が必要、悪心、細かい筋作業が困難、頭痛
14 ～ 9	判断力低下、発揚状態、不安定な精神状態、記憶障害、刺傷などに無感覚、酩酊状態、体温上昇、全身脱力、チアノーゼ
10 ～ 6	意識不明、中枢神経障害、けいれん、チェイン、ストークス型呼吸、チアノーゼ
10 ～ 6の持続またはそれ以下	昏睡→呼吸緩徐→呼吸停止→6～8分後心臓停止

結果より、5℃～30℃までの温度領域では、温度上昇に伴って二酸化炭素発生量が増加したが、それ以降の温度領域に関しては、温度の上昇に伴って二酸化炭素発生量が徐々に減少していった。また、特に水分の多いものに関しては、身体に影響を及ぼす量まで酸素濃度を低下させる可能性があることがわかった。

今回の測定結果から考えてみると、貯蔵場所の密閉性がよく、さらに外界との酸素流通量が少ない場合には、発酵によって酸素が消費され貯蔵場所が酸欠状態となり、酸欠事故が発生すると考えられるが、酸素が十分存在し、大量に堆積貯蔵されており、かつ断熱状況がよい場合には、室温付近での貯蔵であっても、発酵によって温度上昇が起こり、熱分解に達した後、自然発火による火災に至る可能性もあることが考えられる。言い換えれば、苫小牧市でも醤油かすによる自然発火が発生する可能性があり、また、銚子市でも醤油かすによる酸欠死亡事故が発生する可能性のあることが考えられる。

7. 自然発火・酸欠発生への過程

熱危険性評価手法による結果に基づいて、今回用いた災害廃棄物や再生資源物品等は、発酵により図 20 のような過程で自然発火や酸欠を引き起こす可能性があると考えられる。最初の段階として、C80 の結果で得られたように、室温から 50℃までの温度領域では、発酵によって発熱が生じている可能性が高い。TAM や GC の結果が示すように、適度な水分が加わることにより発酵が活発となり、発熱危険性や可燃性・窒息性ガスの発生危険性が上昇する結果となった。60℃～80℃まで温度が上昇すると、大部分の微生物は徐々に死滅していき、発酵は不活性となり、温度の上昇や発酵に伴って生じた脂肪酸エステル類等の酸化に移行する。100℃近辺に達すると、含有水分の沸騰による一時的な吸熱が生じる。そして、吸熱の過程を超えさらに温度が上昇し、火災に至ることが考えられる。

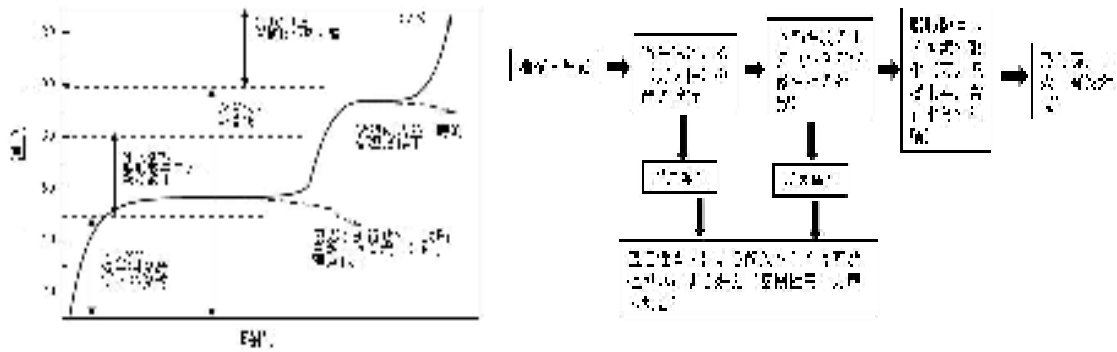


図 20 災害廃棄物や再生資源物品等が発酵により自然発火・酸欠を引き起こす過程

8. 危険性の相対評価

今回の熱危険性評価手法により、得られた発熱開始温度(C80)と発熱量(TAM)と可燃性ガスの発生量(GC)の値を指標として、それを用いた新たな評価手法の検討と相対評価を試みた。「発熱開始温度」は発熱反応の起こりやすさを示し、「発熱量」は発熱の大小を表すものであると設定した。各試料において、次のような基準に基づいて点数を設定した。括弧内は評価点数で、点数が高いものほど危険性が高い。

C80 の結果を基に設定した発熱開始温度の点数 (図 4～図 9 参照)。

$0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq (5) < 30\text{ }^{\circ}\text{C} \leq (4) < 60\text{ }^{\circ}\text{C} \leq (3) < 90\text{ }^{\circ}\text{C} \leq (2) < 120\text{ }^{\circ}\text{C} \leq (1) < 150\text{ }^{\circ}\text{C} \dots (1)$

TAM の結果を基に設定した発熱量の点数 (表 2 参照)。

$0\text{ J/g} \leq (1) < 10\text{ J/g} \leq (2) < 20\text{ J/g} \leq (3) < 30\text{ J/g} \leq (4) < 40\text{ J/g} \leq (5) < 50\text{ J/g} \leq (6) < 60\text{ J/g} \dots (2)$

可燃性ガスの発生量については、ルシャトリエの原理より、次式のように GC によって検出された可燃性ガスの発生量を、それぞれの可燃下限界濃度で除した値を足し合わせてガス発生の危険性評価の指標とした。また、今回の試算では、二酸化炭素の影響については除外して行った。

$$\text{可燃性ガスの危険性} = \frac{[H_2]}{4.0\%} + \frac{[CO]}{12.5\%} + \frac{[CH_4]}{5.0\%} \dots (3)$$

GC の結果を基に設定した可燃性ガスの発生量の点数(表 3 参照)

$0\% \leq (1) < 0.001\% \leq (2) < 0.01\% \leq (3) < 0.1\% \leq (4) < 1\% \leq (5) < 10\% \dots (4)$

上記の手法により、値を算出し「発熱量の危険性」を縦軸に、「発熱開始温度の危険性」を横軸に、「可燃性ガスの危険性」を円の大小で表示したものを図 21 に示す。グラフの右上にあるものほど、熱的危険性が高いことを示す。また、円の大きなものほど可燃性ガス発生の危険性が高い。

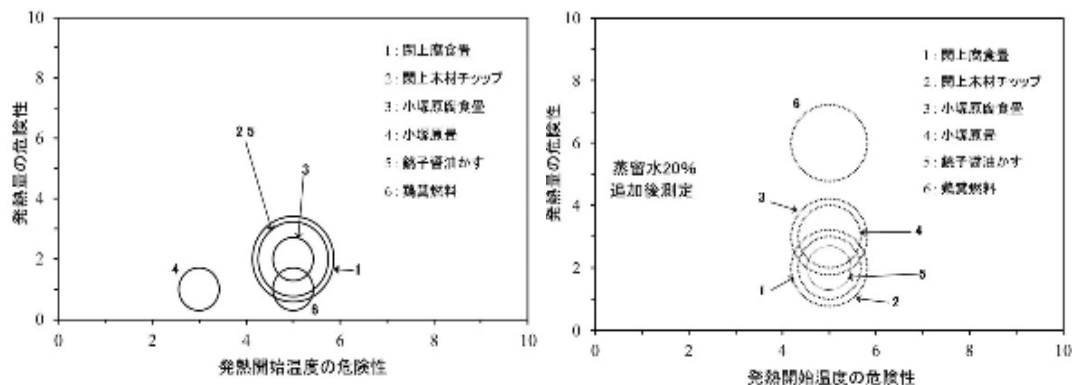


図 21 各試料の評価結果

結果を比較してみると、今回測定を行った災害廃棄物や再生資源物品等に関しては、適度な水分が加わることで、発熱開始温度の危険性、発熱量の危険性、可燃性ガス発生の危険性のいずれか1つは上昇するという結果となった。この手法は、自然発火の引き金となりうる発熱の有無を確認し、災害廃棄物や再生資源物品等の危険性を効率的に把握するという点では有効であり、今後さらに検討を行う価値がある手法であることが考えられる。

9. 災害廃棄物・再生資源物品等からみた今後の循環型社会の在り方について

本研究では、災害廃棄物や再生資源物品等の火災原因の1つとなりえる発酵による発熱の危険性の検討を行った。その結果、自然発火・酸欠等に至る過程を明らかとすることができ、それをもとにした安全対策を実際に行政等に対して立案を行った。今回の研究を通して立案を行った安全対策は、実際に災害廃棄物の仮置き場や貯蔵施設等において、試験運用が始まっており、災害廃棄物や再生資源物品等の発酵によって引き起こされる自然発火や酸欠の防止に寄与できるものであると考えられる。

また、福島第一原子力発電所の事故により、大規模な除染作業が各地で行われており、それに伴って、草木類を始め多くの放射性物質に汚染された災害廃棄物が排出されてきている。これらは、焼却処分や移動が困難であり、当面は特別な措置が施された専用の袋に梱包され、厳重な監視下で保管されることとなっている。これらに関しても、発酵する可能性のあるものが袋の中に混入していた場合、蓄熱後に自然発火に至ることが想定される。これらに関しても、今回得られた知見の応用が可能であると考えられる。

災害廃棄物や再生資源物品等の事故を未然に防止していくには、産・官・学の連携はもちろん、幅広い分野での相互協力や理解が重要であり、特に文理融合型の新たな学問体系である、「危機管理・リスク管理」を基盤とした有識者の存在は、今後不可欠となってくることが考えられる。

21世紀は、持続可能な循環型社会構築を目指す時代であり、これらを踏まえ、それに向かって転換していけるような社会状況を創り出していかなければならないことが考えられる。日本には、幅広い地域社会の力があり、蓄積された高度な技術力も豊富に存在していると考えられるため、それらを有効に活用し、発揮していけば、持続可能な循環型社会の実現も十分可能であると考えられる。