

博士論文

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

千葉科学大学

大学院危機管理学研究科

危機管理学専攻

村 沢 直 治

平成25年9月

目 次

Abstract	i
第1章 緒論	1
1-1 本研究の意義と目的	1
1-2 危機管理・リスク管理の歴史的背景	3
1-3 リスクの分類と処理手段	4
1-4 危機管理・リスク管理の重要	7
1-5 危機管理とリスク管理の違い	8
1-6 危機によって失われる対象物の増加	10
1-7 危機によって生じる影響と予測の困難性の増加	11
参考文献	13
第2章 調査研究手法	18
2-1 現地調査の重要性と事故原因の立証要領	18
2-2 発酵熱に起因する自然発火	19
2-3 自然発火に関わる熱発火理論	22
2-4 熱危険性評価手法	23
2-5 熱危険性評価手法に用いた装置とその測定目的	24
2-5-1 熱重量・示差熱分析 (TG-DTA)	25
2-5-2 双子型高感度熱量測定 (C80)	26

2-5-3 等温型高感度熱量測定 (TAM)	27
2-5-4 自然発火温度測定試験 (SIT)	28
2-5-5 ワイヤーバスケット試験	29
2-5-6 燃焼熱量測定試験 (C2000)	30
2-5-7 ガスクロマトグラフ測定 (GC)	31
参考文献	32
第3章 熱危険性評価手法を用いた災害廃棄物の自然発火に関する研究	37
3-1 緒論	37
3-1-1 東日本大震災で生じた災害廃棄物と仮置き場	37
3-2 災害廃棄物の仮置き場で頻発する自然発火	42
3-3 災害廃棄物に起因する火災とその推移 (2011年3月11日～2012年3月11日)	45
3-4 熱危険性評価手法を用いた発酵可能な災害廃棄物の危険性評価	52
3-4-1 検討に用いた災害廃棄物	53
3-4-2 熱分解開始温度と含有水分量の検討 (TG-DTA)	54
3-4-3 室温付近からの熱挙動の検討 (C80)	58
3-4-4 発酵による熱挙動の検討 (TAM)	63
3-4-5 発酵によって生じるガスの検討 (GC)	67
3-4-6 火災発生へのメカニズム	70
3-5 環境問題を考慮した災害廃棄物仮置き場の設置計画	71
3-6 熱危険性評価手法により得られた結果のまとめ	74

3-7 今後の課題	75
参考文献	76
第4章 熱危険性評価手法を用いた食品廃棄物等の自然発火・酸欠に関する研究	82
4-1 緒論	82
4-1-1 食品リサイクル法の施行と食品廃棄物の再利用	82
4-2 食品廃棄物の再資源化施設等で発生する自然発火・酸欠	84
4-2-1 肉骨粉の貯蔵場所における自然発火	84
4-2-2 醤油かす・魚粉の貯蔵場所における自然発火・酸欠	84
4-3 熱危険性評価手法を用いた醤油かす・魚粉の危険性評価	89
4-3-1 検討に用いた醤油かすと魚粉	89
4-3-2 ヨウ素価・油分・含有水分の検討	90
4-3-3 熱分解開始温度と含有水分量の検討 (TG-DTA)	92
4-3-4 室温付近からの熱挙動の検討 (C80)	94
4-3-5 自然発火温度の検討 (SIT)	97
4-3-6 熱分解開始後の燃焼挙動の検討 (ワイヤーバスケット)	99
4-3-7 燃焼熱量の検討 (C2000)	102
4-3-8 発酵によって生じるガスの検討 (GC)	104
4-3-9 数値計算を用いた自然発火と酸欠に関する危険性の推定	112
4-3-9-1 活性化エネルギーの算出	113
4-3-9-2 堆積高さとの関係性	115
4-4 貯蔵場所において自然発火と酸欠を引き起こす場合の違い	118

4-5 熱危険性評価手法により得られた結果のまとめ	121
4-6 今後の課題	122
参考文献	123
第5章 熱危険性評価手法を用いた再生資源燃料の自然発火に関する研究	129
5-1 緒論	129
5-1-1 地球温暖化の抑制と再生資源燃料を利用した発電	129
5-2 ごみ固形化燃料製造施設で発生する自然発火	131
5-3 熱危険性評価手法を用いた再生資源燃料の危険性評価	135
5-3-1 検討に用いた再生資源燃料	136
5-3-2 熱分解開始温度と含有水分量の検討 (TG-DTA)	137
5-3-3 室温付近からの熱挙動の検討 (C80)	141
5-3-4 発酵による熱挙動の検討 (TAM)	146
5-3-5 発酵によって生じるガスの検討 (GC)	151
5-3-6 危険性の相対評価	153
5-4 熱危険性評価手法により得られた結果のまとめ	157
5-5 今後の課題	159
参考文献	159
第6章 災害対応や循環型社会構築を視野に入れ災害廃棄物・再生資源物品等を扱っていく 上での危機管理・リスク管理に対する提言	165
6-1 東日本大震災で生じた災害廃棄物と広域災害に対する事前 対策	165

6-1-1 広域災害に対する関心の高まりと発生の推移	165
6-1-2 地震多発国日本	167
6-1-3 東日本大震災と危機管理・リスク管理の不備	169
6-1-3-1 被害想定と対応時における問題点	169
6-1-3-2 被災に伴う流言と情報化社会の発達に伴う問題点	174
6-1-3-3 避難時・避難所における問題点	176
6-1-4 広域災害時における連携体制の重要性と災害廃棄物を視野に入れた事業継続 計画	177
6-1-4-1 広域災害時における災害廃棄物への適正な対処・処理計画	180
6-1-4-2 地域住民の災害廃棄物処理への理解と協力の促進	183
6-1-4-3 被災時における災害対応経験者の受け入れとボランティア組織の重要性	184
6-2 食品廃棄物に起因する火災・酸欠等の事故と循環型社会構築に向けて	190
6-2-1 21世紀において望まれる廃棄物への対処・処理計画	190
6-2-2 食品廃棄物問題と循環型社会の構築化	192
6-2-2-1 食品廃棄物の再資源化時における課題	193
6-2-3 事故事例情報の入手と類似性の検討	195
6-2-3-1 事故情報を基にした意識改革と安全教育	198
6-2-4 リスク評価を活用した再発防止策と安全性の確保	200
6-2-5 食品廃棄物への理解と協力の促進	202
6-2-6 次世代の要求を満たす持続可能な循環型社会のあり方	204
6-3 今後のエネルギー政策を踏まえた危機管理・リスク管理への提言	206
6-3-1 エネルギー政策の見直しと再生資源燃料を含む再生可能エネルギーへの注目	206

6-3-2 再生資源燃料を含む再生可能エネルギーを取り巻く法律や制度	208
6-3-3 自然の力を利用した発電方式	210
6-3-4 廃棄物を利用した発電方式	212
6-3-5 リスクコミュニケーションを活用した状況の改善と相互理解	213
6-3-6 地域住民を主体とした普及計画	215
6-3-6-1 再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる地域づくりの事例と今後の 課題	216
6-3-7 基準の見直しと未利用エネルギーの利用	219
6-3-8 循環型社会を構築していく上での今後のエネルギー政策への展望	221
参考文献	223
第7章 総括	242
論文目録	248
謝辞	252
資料	253

Abstract

Safety countermeasures and thermal risk assessment of disaster waste and related materials

RD10R01 Naoharu Murasawa

Introduction

Recently, crisis and risk management processes have become increasingly important in various fields because of accelerated global economic development. Meanwhile, there has been a general shift towards a more recycling-oriented society, focussing particularly on reductions in waste and the implementation of recycling and energy recovery measures.

However, the industries that can handle waste and related materials (thus minimising waste) are still developing and are often affected by accidents that occur owing to spontaneous ignition. One of the proposed causes of such accidents is the faint heat generated through fermentation by microorganisms. To improve knowledge in this field, we investigated three such accidents.

- Abundant disaster waste was produced as a result of the Great East Japan earthquake, resulting in the stacking of disaster waste in many temporary storage areas in the disaster-stricken areas of the Tohoku region. However, more than 40 fires occurred successively in these storage areas^{[1]-[2]}. We collected multiple samples from these outdoor storage areas and applied various thermal analysis methods to investigate the causes of the fires. Our primary objective was to obtain basic data to help prevent the recurrence of such fires.
- In some cases, food wastes or products manufactured through recycling have generated heat at low temperatures owing to fermentation or oxidisation, resulting in spontaneous ignition during transport or storage; cases have also been reported in which depletion of oxygen in the storage area (owing to fermentation and oxygen deprivation) has led to the deaths of workers^{[3]-[4]}. In these cases, various thermal analysis methods were applied to investigate the causes of spontaneous ignition and the lack of oxygen.

- Various biomass fuels have been developed rapidly in response to global warming and increasing crude oil prices. However, applying these biomass fuels practically without sufficient risk assessment poses a high risk of accident. For such fuels, particularly those made from waste, the faint heat generated by fermentation can induce spontaneous ignition following increases in heat temperature^{[5]-[6]}. Therefore, various thermal analysis methods were applied to various biomass fuels to investigate the causes of spontaneous ignition.

Experimental methods

Use of the thermal analysis method offers several advantages in investigation of the causes of fire. In particular, the method allows determination of sample properties using only a small sample (i.e. 1 g or less), thus preventing the occurrence of fire and the emission of large quantities of poisonous gas and smoke. We conducted a risk assessment focussing primarily on the materials most likely to generate heat when stockpiled (i.e. those presenting the greatest risk of fire) based on the obtained results. The use of this method in the evaluation of safety issues associated with waste and related materials has rarely been reported; therefore, we believe our results to be novel and to offer scientific value.

Results and discussion

Based on the results of C80 (Figs. 1–3), we conclude that the process of heat generation leading to the spontaneous ignition of these items begins with faint heat generated from fermentation owing to microbial activity. Then, the fatty acid esters within the items begin to oxidise as temperature increases gradually; the temperature continues to rise even if the microorganisms die, resulting ultimately in spontaneous ignition.

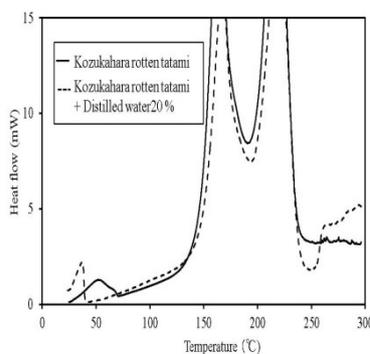


Fig. 1 C80 results for Kozukahara rotten tatami

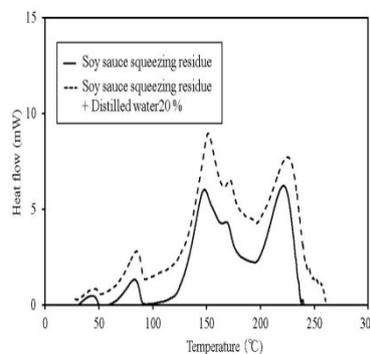


Fig. 2 C80 results for Soy sauce squeezing residue

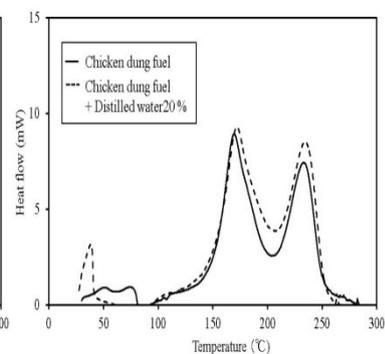


Fig. 3 C80 results for Chicken dung fuel

It is generally believed that moderate moisture content encourages aerobic fermentation, thus allowing easier generation of heat. Generation of a large quantity of carbon dioxide was detected by GC (Table 1); flammable gases such as hydrogen and methane were also sometimes observed, suggesting the occurrence of anaerobic fermentation.

Table 1. GC analysis results (25°C)

Sample names	Storage period	GC analysis results (%)					
		O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
Kozukahara rotten tatami	10 days	1.75	77.43	0.08	-	0.06	17.32
Kozukahara rotten tatami + Distilled water 20 %		0.98	72.81	0.10	-	0.08	20.19
Soy sauce squeezing residue		1.71	79.38				16.08
Soy sauce squeezing residue + Distilled water 20 %		1.66	79.12				18.19
Chicken dung fuel		9.53	70.12	-	-	-	14.20
Chicken dung fuel + Distilled water 20 %		1.48	73.76	0.27	-	-	21.99

Combustion mechanism

We have proposed a mechanism for the fire based on the above results (Fig. 4). We suggest that most microorganisms died as a result of an increase in temperature from 50°C to 80°C, thus inhibiting aerobic heat generation. The generation of abundant carbon dioxide is likely to induce accidents owing to the lack of oxygen. Furthermore, explosions often occur when flammable gases are generated. Fatty acid esters are present in plants and may be oxidised to produce peroxide; we interpret this to be the primary process underlying the third step, in which cellulose and other organic materials began to burn.

Based on our results, we suggest two effective safety countermeasures: the covering of slopes with sheets or soil and sand to restrict the inflow of oxygen (Fig. 5), and the emplacement of pipes in waste mounds to dissipate heat (Fig. 6). The latter option should also include a simple gas detector to monitor the presence of gases (carbon dioxide, hydrogen, carbon monoxide, and methane) produced by fermentation or emitted via temperature increase.

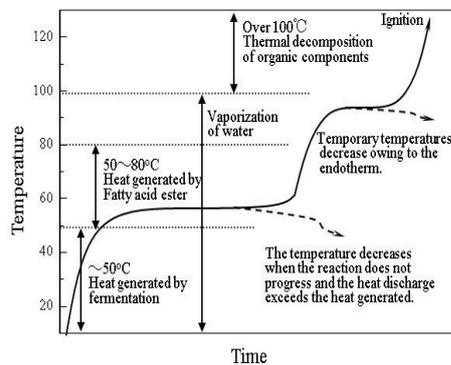


Fig. 4 Combustion mechanism in stored waste



Fig. 5 Slope covers to restrict oxygen inflow



Fig. 6 Pipes for the release of heat and gas monitoring

Summary

In this study, we investigated the thermal risks of fermentation in terms of the initiation of fires by spontaneous ignition in disaster waste and related materials. In particular, we clarified the processes leading to spontaneous ignition or lack of oxygen and have suggested appropriate safety measures for local government. Our proposed countermeasures have been applied on a trial basis at temporary sites and storage installations for disaster waste. These safety measures are expected to contribute to the prevention of spontaneous ignition and dissipation of oxygen caused by the fermentation of disaster waste and related materials.

Considerable focus has been placed on the sustainable use of resources in the 21st century, and it is important to create social circumstances that will induce a transition to a predominantly recycling-based society. Japan offers extensive capacity for technological development and strong communities in all levels of society. By taking advantage of these aspects of Japanese society, it will be possible realise a sustainable recycling-oriented society.

References

- [1] N, Murasawa., H, Koseki., Y, Iwata., T, Sakamoto. “Investigation of the Heat generation and Spontaneous ignition of disaster waste generated after the 2011 Great East Japan Earthquake” *Fire safety Journal* Vol59 pp.178-187 (2013)
- [2] N, Murasawa., H, Koseki., Y, Iwata., T, Sakamoto. “Lessons learned from fires of the Rubble-Risks of spontaneous ignition caused by the microbial activity -” *Loss Prevention Bulletin*, Issue 226 pp.16-19 (2012)
- [3] N, Murasawa., H, Koseki., Y, Iwata. “Causes of accidents by Soy Sauce Squeezing Residue and Fish meal” , *Material cycle and Waste Management*, Vol15 pp.42-48 (2013)
- [4] N, Murasawa., H, Koseki., Y, Iwata. “Lessons learned from accidents of soy sauce squeezing residue – risks of spontaneous ignition and oxygen deficiency” *Loss Prevention Bulletin*, Issue 224 pp.14-17 (2012)
- [5] N, Murasawa., H, Koseki., X.R, Li., Y, Iwata., T, Sakamoto. “Study on Thermal Behaviour and Risk Assessment of Biomass Fuels” *International Journal of Energy Engineering*, Vol2 No5 pp.242-252 (2012)
- [6] N, Murasawa., H, Koseki., Y, Iwata., T, Sakamoto. “Risk assessment of woody biomass fuels and waste using high-sensitivity calorimetry and gas chromatography” *Waste and Biomass Valorization* (Available online)

第 1 章

緒論

1-1 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ように思われる。また、最近では、地球環境保全の観点から、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。この循環型社会の構築には、まず、できる限り廃棄物の排出量を抑制し、一旦廃棄物となったものについては、再使用、再資源化、熱回収の順に資源の循環的な利用が必要不可欠である。

循環型社会の構築を目指して、廃棄物の排出量を抑制するため、法律・制度の改正や、様々な再資源化方法が考案され、廃棄物を利用した再生資源物品等が製造され始めている。

例として、建設リサイクル法[1]-[2]の特定建設資材として、廃材のリサイクルが義務づけられた結果、大量に製造されている木材チップ、主に一般家庭から排出されたごみから作られる RDF (Refuse Derived Fuel)、廃プラスチックや紙類から作られる RPF (Refuse Paper and Plastic Fuel)、下水処理のコストを下げるために開発が進められている下水汚泥燃料、廃食油を利用して製造される BDF (Bio Diesel Fuel) 等が挙げられる。

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。今後は、さらに廃棄物や再生資源物品を取り扱う産業の存在意義や社会的責任に注目が集まり、積極投資の対象となっていくことが想定される。

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[3]-[9]事業者に対する安全意識の徹底が今一つと思われる点もあり、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[10]-[12]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）[13]-[17]に起因する火災や爆発[18]-[19]が発生しており、死者や負傷者も生じている。

その理由として、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、自然発火に至る可能性が高いことが報告されている[20]-[22]。

また、廃棄物や再生資源物品等の多くは可燃性固体であり、場合によっては消防法の指定可燃物[23]に相当する性状を有する場合もある。そのため、出火した場合延焼速度は大きく、また、消火しにくく、一挙に大きな火災になる場合が想定される。

特に、廃棄物や再生資源物品等に関する自然発火に関わるもので、微生物の発酵によって生じる微弱な発熱が引き金となって生じるものに関しては、研究事例があまり多くなく未解明の部分が多い。そのため、得られた結果を類似事故防止のために、一層活用

しやすい形で整理し、事故から学んだ情報を知識化し、わかりやすい形で共有化することが重要である。また、得られた知見や教訓を類似の事故対応や安全対策に生かすことも望ましいと思われる。

ここまで述べてきたような、廃棄物や再生資源物品等に関する事故を安全かつ効果的に防止していくためには、実証実験や研究等に基づき、事故に至る潜在的危険性の抽出を行い、その結果を基にして、危機管理・リスク管理を効果的に行い、安全意識の向上と保全に努めていくことが重要である。

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、基礎的なデータをとりまとめ、その結果を基にして、危機管理・リスク管理の立場から、今後の安全対策を得ることを目的とした。

- ① 2011年3月11日に発生した「東日本大震災」により、大量の災害廃棄物が生じた。被災地では、一時的にそれらを堆積し、分別後に処理するための「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[24]-[26]。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。火災原因の検討を行うため、宮城県にある、複数の仮置き場で現地の消防本部と合同で調査を行った。また、広域処理のため、東日本大震災で生じた災害廃棄物の受け入れが各地で始まっており、受け入れた自治体・受け入れる予定の自治体において、火災を起こさせないようにするためには、どのような安全対策を行えばよいのか、火災に至った場合、どのような消火方法が有効であるのかななどを視野に入れ、研究を行った。
- ② 千葉科学大学のある千葉県銚子市では、醤油醸造と漁業が盛んである。それらの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、銚子市内において、貯蔵中や輸送中に発酵等によって発熱後に蓄熱し、「自然発火」による火災を引き起こしている[27]-[28]。また、2010年11月には、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、作業員2名が酸欠症状を起し、搬送後死亡するという事故が発生した[29]-[30]。酸欠事故の原因として、発酵が起こり周囲の酸素を消費してしまったためと推定された。ここでは、苫小牧市の消防本

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現場から採集し、銚子市から排出される醤油かすとの比較検討を含めて、貯蔵場所においての、自然発火と酸欠に至る違いを明らかとし、事故を防止するための安全対策を得ることを目的とし、研究を行った。

- ③ 地球温暖化対策や、化石燃料の備蓄量の減少から考えて、今後日本でもエネルギーの転換が求められてくる。代替燃料の有力候補として、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーが挙げられてくる。再生資源燃料の中で、特に廃棄物から製造されているものは、微生物が繁殖しやすいものが多い。再生資源燃料の大きな事故として、2003年8月に、三重県のごみ固形化燃料発電所において 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が発生した[31]-[32]。ここでは、今後日本国内で導入予定である、数種類の新規開発された再生資源燃料を用いて分析と検討を行い、危機管理・リスク管理を行っていくうえで、どのような取扱いをするべきであるのか、といった安全対策を得ることを目的とし、研究を行った。

1-2 危機管理・リスク管理の歴史的背景

1-1 において、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、危機管理は、英語で Crisis management (クライシスマネジメント)、リスク管理は英語で Risk management (リスクマネジメント) と訳されている[33]。「危機管理」という言葉が使用され始めたのは、キューバ危機 (1962 年) が始まりだとされている[34]-[36]。

ソビエト連邦 (現在のロシア) とアメリカ合衆国が対立していた冷戦時代に、ソビエト連邦がキューバに核兵器を含むミサイルなどの配備を行った[37]。当時アメリカ合衆国では、この状況を国の危機的状況と判断して、輸送船の臨検を行うという事態にまでなったが、最終的には、ソビエト連邦がミサイルを撤去することで決着した[38]。

Crisis management という言葉は初め、軍事あるいは国家安全保障関係の用語であったが、後に他の分野でも意味を拡張して用いられるようになっていった[39]。「日本では、本来リスク管理と訳すべき Risk management も危機管理と翻訳され、同義語として扱われていることが多いように思われる。また、危機管理・リスク管理という言葉を用いる際に、「リスク」という言葉も多用されている。

リスクに対する世間一般的なイメージとしては、「不都合なこと、困ったことなどが起こる可能性」あるいは「危険や障害など好ましくない事象をもたらす可能性」といったものであることが想定されるが、ISO Guide 73[40]では、リスクを「目的に対して不確かさが与える影響」と明記している。

リスクのより詳細な分類については、次項の 1-3 にて述べる。さらに、リスクと混同しがちな用語として、ハザード (Hazard) という用語があるが、こちらは、「ある状況下で人・物・環境に不利益な影響を起しえるシステムに固有の性質」と定義され、リスクとは明確に区別する必要があると報告されている[41]-[42]。

危機管理・リスク管理という言葉を用いようとする際には、その言葉の歴史的背景や成り立ちも視野に入れたうえで、その状況に応じて用いなければならない。しかし、日本国内では、危機管理・リスク管理に対する認識が甘く、その言葉の成り立ちまで熟知している有識者は少ないように思われる。こうしたことで、日本では危機管理・リスク管理という言葉の定義が曖昧なまま使用され、混乱状態にあるのではないかと思われる。

1-3 リスクの分類と処理手段

1-2 において、危機管理・リスク管理という言葉を用いる際には、リスクという言葉を用いなければならないと述べたが、危機管理・リスク管理を行う上で、リスクの種類を正しく把握し、そのリスクに適した対処手段をどのように選択するかが、非常に重要となる。また、リスクは様々な角度から以下のように分類される[43]-[46]。

- ・ 純粋危険と投機的危険

それが生じた場合に「損害のみを発生させる」か「損害または利益のいずれかを発生させる」かの分類。違いとして、前者は、自然災害や偶発事故を対象としている。後者は、企業活動や経済の変動を意味する場合が多く、一定の前兆を伴った後に発生し、損害の範囲の推定が比較的可能なものを対象とされている。

- ・ 静態的危険と動態的危険

社会経済の変動に起因するかしないかの分類。

- ・主観的危険と客観的危険

個人の心理的状态や精神的態度に起因するかしないかの分類である。違いとして、前者は、個人の認識や感性に関するもので測定が不能であり、後者は、偶然や不可抗力に起因し、確率で把握が可能である。

- ・人的危険と物的危険

人的危険は、人間の生死に関連するリスクであり、生命の危険と健康の危険に分かれる。物的危険は、資産の喪失や収益の喪失のリスク等が挙げられる。

- ・自然的危険と人為的危険

発生原因が自然的によるものか人為的かの分類である。前者は、自然災害等を指し、後者は人間の故意・過失等に関連した人災を指す。

- ・一般的危険と個別的危険

効果が一般に及ぶか、個別的に限定されるかの分類である。前者は、社会全般や企業一般に影響が及ぶが、後者は、特定の個人や企業にのみしか影響が及ばない。

上述では、リスクの分類について述べたが、そもそも危機管理・リスク管理を行う上でリスクという存在は、できるかぎり「回避」し、回避できないリスクは「除去」し、それでもできないリスクは「転嫁」する。回避も除去も転嫁もできないリスクに関しては、やむをえず「保有」するか「挑戦」するということが重要となってくる。以下にリスク処理手段である、回避、除去、転嫁、保有・挑戦の例についてまとめたものを示す[47]-[49]。

- ・危険の回避

リスク処理手段のうち最も単純なものは危険の回避であると考えられる。これは、予想される危険を遮断するため、その危険にかかわる活動自体を行わないということである。例えば、自動車保有から生じる交通事故等のリスクを回避のために自動車の保有をしないなどが挙げられる。危険の回避は、危険を伴う活動からの

逃亡であり、利益の放棄であるから、極めて消極的な危険処理手段であると考えられる。この方法を用いると、その危険を避けることはできるが、なんらかの代替行為を取らねばならないために、別種の危険を抱え込むことになる可能性が高い。

- ・危険の除去

危険を積極的に予防し、起こりうる損害を軽減しようとする手段が危険の除去であると考えられる。危険の除去には、危険の防止(防災)、分散、結合、制限などの要素が含まれる。

- ・危険の転嫁

危険の転嫁とは、損害の全てを負わず、その影響を前もって備えておいた対策で低減させる手段であると考えられる。危険の転嫁の典型的なものとして、各種保険が挙げられる。

- ・危険の保有・挑戦

危険の保有・挑戦には、「それに対する無知から結果的に保有してしまっていた」という消極的保有と、「それを十分確認したうえで保有した」という積極的保有の2つがある。積極的保有の場合でも、あらかじめ何らかの対策をたてたうえで保有する場合と何も対策を講じず放置する場合とがある。

危機管理・リスク管理を行っていく上で、リスクの種類を正しく認識し、それにあった処理手段を選択することの重要性について述べてきたが、「リスクは繰り返す」、「リスクは変化する」、「リスクは隠れている」といったことも視野に入れ、危機管理・リスク管理に反映させていくことが望ましいと思われる。

1-4 危機管理・リスク管理の重要性

最近では、危機管理・リスク管理という言葉は、単に専門的な用語としてだけでなく、日常用語として一般的に用いられるようになってきている。例えば、日本国内では、グリコ・森永事件（昭和 59 年）、湾岸戦争（平成 2 ～ 3 年）、阪神・淡路大震災（平成 7 年）などを契機として、危機管理・リスク管理という言葉は一般化してきているように思われる[50]-[52]。

さらに、2011 年 3 月 11 日に発生した「東日本大震災」を契機として、特に広域災害を対象とした、危機管理・リスク管理については、日々その必要性は高まってきているように思われる。

企業においては、リスクに対する概念を取り入れたビジネスモデルを構築し、推進することが望まれており、事業継続計画（BCP：Business Continuity Planning）を、大規模災害やそれに伴う事故に対しても発展させ、たとえ悪影響を及ぼす事態が生じたとしても、停滞することなく事業が継続できる仕組みを平常時から構築しておく等が望まれてきている[53]-[56]。

先進国の中で、日本の危機管理・リスク管理は、欧米と比較して数十年遅れていると報告されている[57]。日本と欧米諸国の危機管理・リスク管理に対する考え方の顕著な違いとして、日本は、事故や事件が発生した後に、それによる損害をいかに軽減し、片づけるかといった「応急対策」として動き出すのに対して、欧米諸国では、危機発生をいかに未然防止（予防）し、いかに事前対策を通じて、渦中や支援対策に反映させるかといったように、事前対策に重点を置いていることが挙げられる[57]。

また、一口に危機管理・リスク管理といってもそれらの領域は多岐にわたっており、大地震、大火災、風水害、原子力災害、国際社会との紛争、拉致事件、テロ災害、医療ミス、金融危機、企業倒産、家庭内のトラブル等、対象や現場が多様化している[58]-[63]。

日本の場合、危機管理・リスク管理についてバックグラウンドを有した、有識者や技術経験者の数が少ないように思われる。この点に関しては、危機の対象それぞれに応じて、専門家等の育成に努めていかなければならないと思われる。

さらに、留意しなければならない点として、現在の危機管理・リスク管理の失敗が当事者である者たちのみで負うに留まらず、まったく関係のない第三者や後世に犠牲を強いることも十分あり得るということが挙げられる。例えば、現在発生している地球温暖化等の環境問題がそれに該当すると思われる。そういった意味で、危機管理・リスク管理は人間社会にとって非常に重要である。

1-5 危機管理とリスク管理の違い

1-4 において、危機管理・リスク管理の様々な重要性について論じてきたが、危機管理・リスク管理の概念は、きわめて複雑であり、その本質を追及するには、哲学的な思想も要求されてくると思われる。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[64]。

- ・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とどめ、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。

以上の3つの要素を踏まえ、危機管理・リスク管理の使い分けを考えてみると、「危機管理」とは、重大な被害が出現する恐れがある緊急事態、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」とは、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報告されている[65]-[67]。

上述した事を参考に、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 1-1 に示す。また、危機管理と混同しやすいリスク管理について、より細かくまとめたものを図 1-1 に示す。

表 1-1 と図 1-1 を合わせて考えてみると、危機管理は、被害が発生した直後、その被害が大きくなるように食い止めることであり、リスク管理は、被害が発生しないようにリスクの発生や程度のコントロールに努め、被害が発生しても可能な限り小さな被害で済むように備えておくことであると定義できる。

危機管理・リスク管理は、その特性と違いを明らかにし、人間が社会生活を行っていく上で全てに関わり、行っていかなければならない総合的なものであると思われる。

表 1-1 危機管理とリスク管理の違い

	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

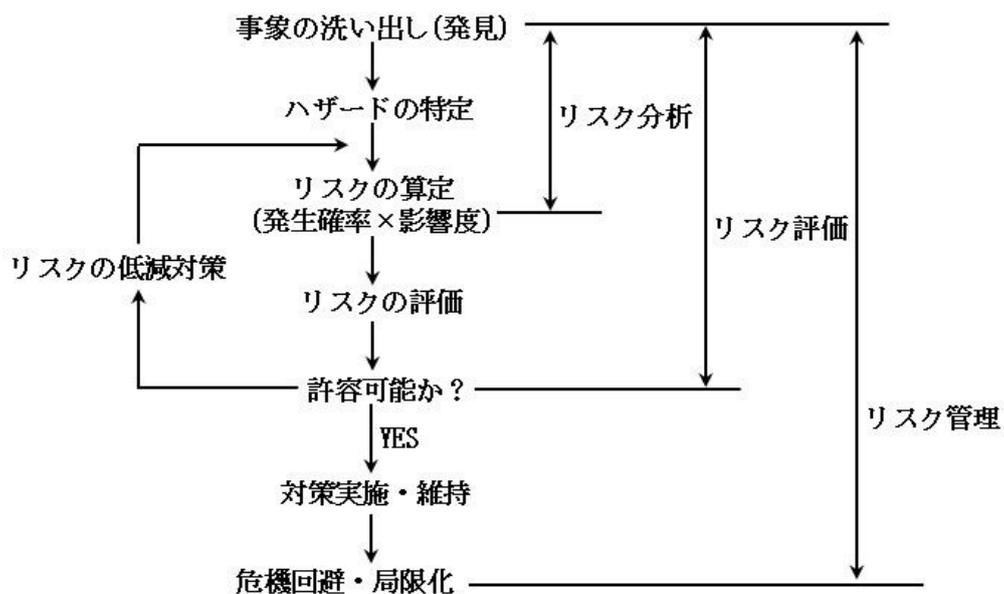


図 1-1 リスク管理の手順

1-6 危機によって失われる対象物の増加

我々が日常生活を行っていく上で、危機管理・リスク管理を意識し、行わなければならなくなってきた背景には、「危機によって失われる有価物の増加」と「危機によって生じる影響と予測の困難性の増加」が挙げられる。危機によって生じる影響と予測の困難性の増加については、1-7 で述べる。

一昔前までは、それほど価値があるとみなされていなかったものであっても、現代社会においては、急速にその価値を高めてきているものが多数存在する。それらが、何らかの要因を受けることになり、また、その影響を受けることにより国家や個人に対して危機的な状況が訪れることが考えられる。例として以下のものが挙げられる[68]-[72]。

・プライバシーや生命

プライバシーや生命は、一昔前に比べるとはるかに高い価値を持ち始めてきており、それらに関わる訴訟問題等も生じてきている。

・社会的信用

情報化社会の発達に伴い、情報の伝達速度は速くなってきているが、一個人にとって悪い情報や誤情報であっても急速に広まってしまうという弊害が生じている。それにより、いったん社会的信用が失われると、その損害ははかりしれないものとなりがちであり、それを回復するには、長い時間と莫大な費用を要する場合がある。

・公的・個人的資産

現代社会は、長い歴史の中で築かれた様々な技術的・社会的資産の蓄積の上になりたっており、それらが劣化したり消失すると、個人はもちろん国家全体の生活水準にまで影響を及ぼす可能性がある。

・芸術・思想

一昔前までは、芸術等は一部の富裕層の娯楽であったが、全体の生活水準の向上にとともに、人々の生活に余裕ができたことで、幅広い人々のなかで、芸術や思

想に対して価値づけが行われている。

- ・ 自然環境

以前は、環境を破壊することなど、さほど気を留めていなかったのに対して、現在では絶滅危惧種の保護や環境の保全に対して、大きな位置づけを与え、様々な努力が行われている。

上述したように、現代社会においては、高いリスクを負わなければ、多くのリターンを得られないという認識が定着してきているように思われる。さらに、社会的に高い地位を得て、成功を収めようとするならば、自分自身の日常生活を通して、危機管理・リスク管理を効果的に行い、危機を上手くコントロールしなければならない。

1-7 危機によって生じる影響と予測の困難性の増加

危機管理・リスク管理を意識して行わなければならないもう一つの背景として、「危機によって生じる影響と予測の困難性の増加」が挙げられる。現代は、社会の発展や科学技術の進歩により、いったん危機的な事態が起こると、その影響は非常に大きなものになる可能性が高くなってきているように思われる。その可能性を高めている原因として、以下のようなものが挙げられる[73]-[76]。

- ・ 大都市への人口や施設の密集

様々な施設が大都市に集中し、人口が密集している場所が増えてきている。その結果、いったん危機が生じると、生じる影響が格段に大きくなってきており、1-2 で述べた「リスクの分散」が難しい状況となっている。

- ・ 地域コミュニティにおける結束力の低下

結束力が強い地域コミュニティの場合、危機が生じても、それに対して集団で立ち向かい、対処にあたるため処理が円滑に行え、生じる影響は少ないと考えられる。しかし、現代社会は、個人の独立性が高く、核家族化が進んでおり、大都市に行く

ほど地域コミュニティの結束力は低下している。その結果、公的機関への依存度合が高くなっているように思われる。

- ・社会連鎖の増大

多角的に業務をこなし、あらゆる業界に進出する組織が増加してきており、その組織のある部署で生じた危機が、他の部署や社会全体へ与える影響が大きくなってきている。その結果、以前であれば、ある場所や時間等に限定されていたものが、その場所のみでは終わらず、非常に広範囲・長時間にわたるようになってきている。

また、危機は、突然起こる場合もあれば、何らかの予兆現象がみられた後に発生するものもあると思われる。予兆現象があれば、その時点で、その危機に対応する専門家が評価・分析を行い、回避や被害を低減させるための対策を講じるべきである。

しかし、社会の発展や科学技術の進歩により、生じる危機の予測が困難なものも日々増加してきていることも事実である。例としては、以下のものが挙げられる。

- ・新技術等の導入に伴うもの

社会の発展に伴い、新技術は日々開発されている。しかし、新技術であるがゆえに、それにかかわる経験や知識は少ないと考えられる。その結果、それを使用することによって生じる危機の予測は困難であることが多い[77]-[78]。

- ・国際化に伴うもの

現在、流通業や観光業は非常に発達している。それに伴い、商品の個人輸入や海外旅行などが比較的簡単に行える。その結果、渡航先等において、事件や事故に巻き込まれるといったケースが増えてきている。最近では、2013年2月に邦人の旅行グループ客を狙った殺人事件[79]がグアムで発生している。

- ・情報化社会の発達に伴うもの

インターネットは、もはや生活の一部となってきている。また、スマートフォン

やタブレット端末の普及により、外出先でも簡単にインターネットに接続できる環境となっている。最近では Twitter[80]や Facebook[81]などの SNS サイトを通して、幅広く情報を伝達でき、情報を早く入手することもできる。しかし、サイトや掲示板に情報が書かれることによって、誤った情報であっても広範囲に伝達され、受け取った相手を混乱させてしまう、といった弊害もある。

上述してきたように、社会の発展や科学技術の進歩に伴い、いったん危機的状況が生じた場合、それによって生じる影響と予測の困難性は増加してきているように思われる。また、有価物の増加といった要因も相まって、今後はさらに困難になることが予測される。今後、日本は危機管理・リスク管理の先進国としての地位を世界的に確立していくことができるよう、日々努力していかなければならないと思われる。

参考文献

- [1] 大成出版社編, “建設リサイクル法に関する工事届出等の手引(案) 改訂 4 版”, 大成出版社 (2010)
- [2] 建設リサイクル法研究会編, “建設リサイクル法の解説 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律”, 大成出版社 (2012)
- [3] 吉田邦夫編, “ケミカル・ルネサンス化学産業の未来が見える”, 丸善 (1998)
- [4] 化学工業日報社, “歴史にみる化学産業の諸相 過去、現在そして未来” (2003)
- [5] 伊藤裕人著, “国際化学産業経営史”, 八朔社 (2009)
- [6] 南正明著, “化学業界大研究改訂版”, 産学社 (2010)
- [7] 橋川武郎著, “化学産業の時代日本はなぜ世界を追い抜けるのか”, 化学工業日報社 (2011)
- [8] 安全工学会監, “化学プロセスの安全 解説・事故例と Q&A”, みみずく舎 (2012)
- [9] 田島慶三著, “最新化学業界の動向とカラクリがよ〜くわかる本 業界人、就職、転職に役立つ情報満載第 2 版”, 秀和システム (2012)
- [10] 豊島富三郎著, “なくそう! はさまれ・巻き込まれ 第 3 版安全衛生実践シリーズ”, 中央労働災害防止協会 (2004)

- [11] 中野洋一著, “なくそう! 墜落・転落・転倒第5版 安全衛生実践シリーズ”, 中央労働災害防止協会 (2012)
- [12] 伊藤真監, “労働法第3版”, 弘文堂 (2013)
- [13] C.P. Beistle, “Spontaneous Heating and ignition in transportation by railroad”, NFA and US Dept. of Agriculture, pp. 40-45 (1929)
- [14] P.H. Thomas and P.C. Bowes, “Power, Some aspects of the self-heating and ignition of solid cellulosic Materials”, Journal of Applied Physics, 12 (5), pp. 222-229 (1961)
- [15] H. P. Rothbaum, “Spontaneous combustion of hay”, Journal of Applied Chemistry, 13, pp.291-302 (1963)
- [16] P.C. Bowes, “Application of the theory of thermal explosion to the self-heating and ignition of organic materials”, Fire Research Note 867 (1971)
- [17] 平野敏右著, “燃焼学”, pp.96-102 (2005)
- [18] 安全工学会編, “火災爆発事故事例集”, (2002)
- [19] 尾川義雄, “廃棄物処理施設等における火災に関する文献紹介”, 消防研究所報告 96, pp.109-113 (2003)
- [20] 消防庁, “ごみ固化燃料等関係施設の安全対策調査検討報告書”, (2003)
- [21] 古積博, “廃棄物の蓄熱火災事例と危険性評価”, 公益社団法人全国都市清掃会議, 都市清掃, Vol.57 pp.18-22 (2004)
- [22] 若倉正英, “廃棄物処理での事故と潜在的危険性”, 安全工学 Vol.43 pp.359-364 (2004)
- [23] 消防法規研究会編, “平成 25 年新版 消防基本六法”, 東京法令出版 (2013)
- [24] 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 佐伯孝夫, 坂本尚史, “発酵発熱を原因とした災害廃棄物の自然発火危険性について”, 公益社団法人全国都市清掃会議, 都市清掃, Vol .65 pp.78-83 (2012)
- [25] N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, T. Sakamoto, “Lessons learned from fires of the Rubble- Risks of spontaneous ignition caused by the microbial activity -” Loss Prevention Bulletin, Issue 226, pp.16-19 (2012)
- [26] N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, K. Suzuki, H. Tamura, T. Sakamoto, “Investigation of the Heat generation and Spontaneous ignition of disaster waste generated after the 2011 Great East Japan Earthquake” Fire safety Journal Vol.59 pp.178-187 (2013)

- [27] 村沢直治, 高黎静, “魚粉の自然発火に関する研究”, 千葉科学大学紀要 第 3 号 pp.131-135 (2010)
- [28] N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, “Causes of accidents by Soy Sauce Squeezing Residue and Fish meal” , Journal of Material cycle and Waste Management, Vol.15 pp.42-48 (2013)
- [29] N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, “Lessons learned from accidents of soy sauce squeezing residue – risks of spontaneous ignition and oxygen deficiency” , Loss Prevention Bulletin, Issue 224 pp.14-17 (2012)
- [30] 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 池田光美, “醤油かすの酸欠事故と自然発火の危険性について”, 安全工学 Vol.51 pp.35-40 (2012)
- [31] 三重県ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会, “ごみ固形燃料発電所事故調査専最終報告書”, (2003)
- [32] 環境省, “ごみ固形燃料の適正管理方策について”, (2003)
- [33] 松田徳一郎編, “リーダーズ英和辞典第 2 版”, 研究社 (1999)
- [34] A. Graham, “Conceptual Models and the Cuban Missile Crisis”, American Political Science Review Vol.63 pp.689-718 (1969)
- [35] A.Graham, “Essence of Decision: Explaining the Cuban Missile Crisis”, Boston: Little, Brown (1971)
- [36] G. Raymond, “Cuban Missile Crisis: The Soviet Story”, Foreign Policy Vol.72 pp.61-80 (1988)
- [37] マイケル ベシユロス著, “危機の年 上巻”, 飛鳥新社 (1992)
- [38] ロバート ケネディ著, “13 日間キューバ・ミサイル危機回顧録”, 毎日新聞社 (1968)
- [39] マイケル ベシユロス著, “危機の年 下巻”, 飛鳥新社 (1992)
- [40] ISO, “ISO Guide73: 2009 Risk management Vocabulary (リスクマネジメント用語)”, (2009)
- [41] 小林誠著, “初心者のためのリスクマネジメント Q&A 100 ISO 31000 規格対応”, 日刊工業新聞社 (2011)
- [42] 亀井利明監, “基本リスクマネジメント用語辞典”, 同文館出版 (2006)
- [43] R.B. Gallagher, “Risk management: New Phase of Cost Control”, Harvard Business Review Vol.34 (5) pp.75-86 (1956)
- [44] 亀井利明著, “危険と安定の周辺 リスクマネジメントと経営管理”, 同朋社会 pp.87-95 (1978)

- [45] 亀井利明著, “危機管理論-企業危機とリスクマネジメントの理論”, 中央経済社 pp.130-135 (1984)
- [46] 亀井利明著, “危機管理とリスクマネジメント”, 同文館出版 pp.85-90 (1997)
- [47] L.S. Paine, “Managing for Organizational Integrity”, Harvard Business Review pp.106-107 (1994)
- [48] E. Waring,” Managing Risk”, Cengage Learning EMEA pp.14-15 (1998)
- [49] アンダーセン著, “図解リスクマネジメント”, 東洋経済新報社 (2001)
- [50] 日本経済新聞社, “ドキュメント・危機管理 グリコ・森永事件の教訓”, 日本経済新聞出版社 (1985)
- [51] 朝日新聞社, “湾岸戦争と日本 問われる危機管理”, 朝日新聞出版 (1991)
- [52] 竹村健一著, “日本の危機管理はこれでいいのか 阪神大震災、地下鉄サリン事件の教訓をどう生かすか”, 致知出版社 (1995)
- [53] 経済産業省商務情報政策局, “事業継続計画 (BCP) 策定ガイドライン 高度 IT 社会において企業が存続するために”, 経済産業調査会 (2005)
- [54] 丸谷浩明他著, “事業継続計画 (BCP) 策定ガイドライン 高度 IT 社会において企業が存続するために”, 日科技連出版社 (2006)
- [55] KPMG ビジネスアシュアランス著, “事業継続マネジメントの構築と運用の実践 事業継続計画 (BCP) の上手な作り方”, 日科技連出版社 (2006)
- [56] 昆正和著, “実践 BCP 策定マニュアル事業継続計画の考え方と作り方”, 九天社 (2008)
- [57] 上田愛彦著, “国家・国民と危機管理求められる意識改革”, 鷹書房弓プレス pp.7-9 (2003)
- [58] 牛尾稔著, “会社をつぶすな! 倒産予防の経営学”, マネジメント社 pp. 220-221 (1992)
- [59] 吉田博文他著, “知的資産経営 戦略・情報・侵害・評価・税務”, 同文館出版 pp. 2-5 (2006)
- [60] 日本火災学会編 “はじめて学ぶ建物と火災”, 共立出版 (2007)
- [61] 気象庁, “局地的大雨から身を守るために 防災気象情報の活用の手引き” (2009)
- [62] 中村孝明他著, “地震リスクマネジメント”, 鹿島出版会 (2009)
- [63] ウルリヒ・ベック著, “世界リスク社会論 テロ、戦争、自然破壊”, 筑摩書房 (2010)
- [64] 高見尚武著, “害危機管理のすすめ改訂事前対策とその実践”, 近代消防社 (2007)
- [65] ISO, “ISO 31000 : 2009 Risk management- Principles and guidelines (リスクマネジメント-原則及び指針)”, (2009)

- [66] 日本規格協会, “対訳 ISO 31000 : 2009 (JISQ 31000 : 2010) リスクマネジメントポ
ケット版”, 日本規格協会 (2010)
- [67] 榎本徹著, “意思決定のためのリスクマネジメント”, オーム社 pp.18-19 (2011)
- [68] 藤田清著, “仏教カウンセリング”, 誠信書房 pp.149-155 (1964)
- [69] 国土文化研究所, “日本の心と文化財災害から守り、未来へつなぐ”, 丸善 (2005)
- [70] 山崎文明著, “個人情報保護 すべてわかる すべてのビジネスパーソン必読! あな
たも知らないではすまされない”, pp.5-21 日経 BP 社 (2005)
- [71] Richard Mackay 著, “絶滅危機生物の世界地図”, 丸善 (2005)
- [72] 吉田博文他著, “知的資産経営 戦略・情報・侵害・評価・税務”, 同文館出版 pp.
2-5 (2006)
- [73] 近藤千恵著, “親の心がしっかり伝わっていますか”, pp.120-125 三笠書房 (1988)
- [74] 不安・抑うつ臨床研究会編, “不安症の時代”, pp.6-10 日本評論社 (1997)
- [75] 不登校情報センター編, “不登校・引きこもり・ニート支援団体ガイド”, pp.10-20 最
新版 子どもの未来社 (2005)
- [76] 小森榮他著, “あぶないハーブ脱法ドラッグ新時代”, pp.10-25 三一書房 (2012)
- [77] 渡辺雄二著, “遺伝子組み換え食品の恐怖 次々と作り出される不気味な新食品は
本当に大丈夫か?”, 河出書房新社 (1997)
- [78] 化学工学会編, “図解 新エネルギーのすべて改訂3版”, 丸善 (2011)
- [79] 朝日新聞, 2013年2月13日 朝刊
- [80] Twitter, <https://twitter.com/>, Twitter, Inc. 2013年5月
- [81] Facebook, <https://www.facebook.com/>, Facebook, Inc. 2013年5月

第 2 章

調査研究手法

2-1 現地調査の重要性と事故原因の立証要領

現地調査とは、ある対象について、学術研究等を行う際に、そのテーマに即した場所を実際に訪れ、その対象を直接観察し、関係者に聞き取り調査等を行うことを示す[1]。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興味深いものである。危機管理・リスク管理を行おうとする者は、自分自身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、その情報を自分自身の戦略や安全対策に還元していかなければならないと思われる。

現地調査の対象は、多岐に渡っており、人文諸科学における調査対象は、人（個人・社会・国家）であり、自然科学では、自然物を対象としている[2]-[5]。また、現地調査において、いかに経験豊富な情報提供者や調査協力者を確保できるかが、その現地調査の成否を左右する。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思われる。

現地で試料の採取を行うことは、学術的・客観的に成果を上げるために必要な調査技法である。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、事故発生前の状況、事故発生時の状況、作業工程等を現場関係者から聴取する必要がある。現場関係者から聴取する内容としては、以下に示すものが例として挙げられる[6]-[10]。

- ① 事故発生前の作業内容や作業工程
- ② 事故発生時の状況（発見状況）
- ③ 取り扱っていた物質等について（数量・保管方法・期間等）
- ④ 作業で取り扱っていた機器
- ⑤ 事故の原因となりえる物の存在や位置、使用状況

事故原因の立証過程において、最も難しいものの一つとして、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、出火場所より試料を採

取る必要性も出てくる。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 2-1 に示す要領で検証を行うことが望ましいと報告されている [6]-[10]。

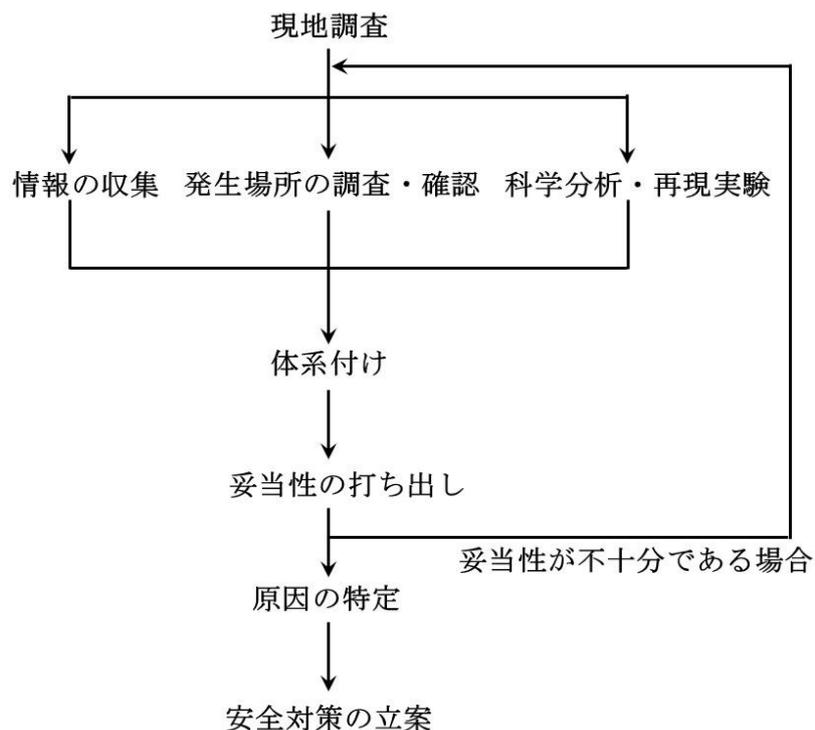


図 2-1 火災原因の立証要領

2-2 発酵熱に起因する自然発火

「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」を自然発火と定義されている [11]-[16]。この発熱を起こす要因としては、発酵熱（草木等）、酸化熱（不飽和油脂類等）、吸着熱（活性炭等）、分解熱（セルロイド等）、重合反応（モノマー等）が挙げられる [11]-[16]。

今回、主に調査の対象とした、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、第一段階として、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するようになる。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、特に堆積物の中心部分の場合、堆積物の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 [11]-[16]。

このため、堆積場所の周囲環境温度が室温（25℃）付近であっても、堆積物の内部で徐々に温度上昇が起こり、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、発火後に火災へと至る可能性が高いと考えられている。

図 2-2 に示すように、大量に堆積または貯蔵されている物品の自然発火による火災を防ぐために最も重要なことは、「発熱 < 放熱」を維持することであり、この不等号が逆転することで熱が蓄積され、温度上昇後火災に至る。

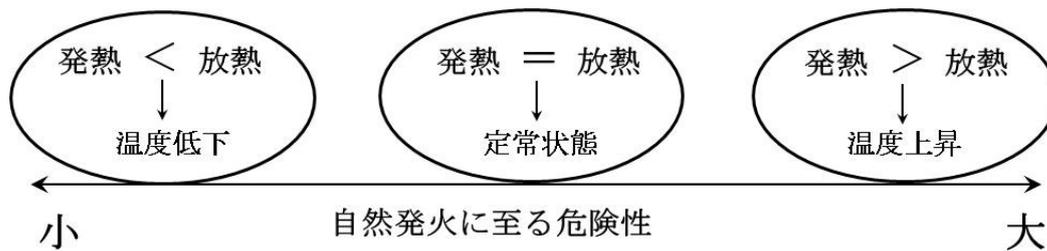


図 2-2 発熱と放熱の関係

また、温度上昇の過程において、可燃性ガスが生じて何らかの火源によって爆発を起こすこともある[17]-[19]。特に、密閉性のよい倉庫や夏季などの温度差のあまりない環境下では、特に放熱が悪くなりがちであり、自然発火による火災に至る可能性が高いことが想定される。また、発生した熱が蓄積する条件に関係がある要因として、下記のもの挙げられる[11]-[16]。

(1) 物質の熱伝導率

高温側から低温側へ熱エネルギーが移動する現象を熱伝導といい、この大小を規定する量を、熱伝導率と定義している。熱伝導率の小さい物質ほど熱が蓄積されやすい。一般的に、粉末状態のものや繊維状態のものは、空気を多く含み、熱伝導率が小さくなることにより、断熱性がよくなるため、熱が蓄積されやすい。また、下記の不等号の順に熱伝導率は高くなる。

気体 < 液体 < 非金属の固体 < 金属の固体

(2) 空気の流動

空気の流動は、熱の蓄積を妨げ冷却に効果があることから、風通しのよい場所の方が、自然発火は起こりにくくなると考えられている。しかし、空気の流動は、発酵や酸化反応を促進させる効果もあるため、「発熱 < 放熱」の関係に注意を払う必要性がある。

(3) 熱の発生速度

熱の発生速度は、発熱量と反応速度の積で表される。熱の発生に関係を及ぼすものとしては、以下のものが挙げられる。

- ・ 温度

酸化等の化学反応の場合、雰囲気温度が高いと反応速度が速くなるので熱の発生は増していく。

- ・ 発熱量

堆積または貯蔵を行っている物品が発生させる発熱量が大きい場合、熱の蓄積量も増える傾向にある。

- ・ 水分

水は本来消火に役立つものであるが、適度な湿気、または水分が存在する場合には、自然発火しやすくなる物品が存在する。

- ・ 表面積

一般に、発酵もしくは酸化反応の反応速度は、酸素の供給量と酸素と物品が接触する表面積に比例すると考えられている。

また、最近では地球温暖化に伴って事業者等の貯蔵施設以外に一般家庭であっても自然発火に留意しなければならないということが報告されている[20]-[21]。例えば、天ぷらの揚げかすから出火した事例[22]、洗濯後の衣類から出火した事例[23]、アロマオイルから出火した事例等[24]が報告されている。このことより、一般家庭においても、今後さらに自然発火に対する危機管理・リスク管理が必要となってくる。

2-3 自然発火に関わる熱発火理論

図 2-2 で示したように自然発火は、発熱速度が放熱速度を上回ることによって温度上昇し、発火に至るといふ熱発火理論に基づいている。自然発火に関わる研究・実験を行う上で重要となってくる熱発火理論としては、Semenov の理論[25]と Frank-Kamenetskii の理論[26]がある。

Semenov は、ある物質が自己発熱に至る理論について提唱している。それによると、ある物質の全体が均一な温度で保持される時、温度上昇へ繋がるとされている。また、Semenov の理論では、系内の温度分布は一定であり、発熱等の反応速度は、式 2-1 に示されるように Arrhenius 型に依存し、放熱等の反応速度は、式 2-2 に示されるように、Newton の冷却則に従うものという条件のもとに仮定されている。

$$Q_r = A \exp\left(-\frac{E_A}{RT}\right) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2-1)$$

式 2-1 内に示される、 Q_r (kJ kg^{-1}) は、発熱速度 (反応速度) であり、 A (s^{-1})、 E_A (kJ mol^{-1})、 R ($\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$) はそれぞれ、頻度因子、活性化エネルギー、気体定数である。

$$Q_c = US(T - T_{a,c}) \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2-2)$$

式 2-2 内に示される、 Q_c (kJ kg^{-1}) は、冷却能力であり、 U ($\text{kW m}^{-2} \text{K}^{-1}$)、 S (m^2)、 T (K)、 $T_{a,c}$ (K) は、それぞれ総括伝熱係数、物質の表面積、内部温度、環境温度である。したがって、Semenov の理論を用いようとした場合、反応熱、熱容量、熱の発生と伝熱速度、反応混合物の性質、反応速度、反応速度への依存性、反応が発生する温度範囲、ガス発生量と速度等の多くの要素について考慮しなければならない。

また、Frank-Kamenetskii の理論でも、発熱速度 Q_r は、Arrhenius 型に従うとされているが、物質内の温度分布を考慮して、Fourier の放熱理論に従うものとして、物質の内部温度と外部温度 (環境温度) は等しいと仮定されており、式 2-3 のように示される。

$$\ln\left(\frac{\delta_{cr} T_{a,cr}^2}{r_0^2}\right) = \ln\left(\frac{E_A \Delta H_c A C_i^n}{k \cdot \rho}\right) - \frac{E_A}{RT_{a,cr}} \dots \dots \dots (2-3)$$

式 2-3 内に示される、 δ_{cr} は、Frank-Kamenetskii パラメータであり、 k ($\text{kWm}^{-1} \text{K}^{-1}$)、 ρ (kgm^{-3}) は、熱熱伝導率、密度である（他のパラメータについては、式 2-1 と 2-2 を参照）。式 2-3 より、物質の限界発火温度 $T_{a,cr}$ (K) と物質の寸法 r_0 (m) の間における関係は、実験的に算出が可能となってくる。

例えば、均一な形にした物質の中央部に熱電対を挿入し、一定温度で加熱保持し、その物質が保持する温度で発熱に至るかどうかの測定を行う。その後、 $\ln(\delta_{cr} T_{a,cr}^2 / r_0^2)$ と $1 / T_{a,cr}$ の関係から近似曲線を導き出し推定を行う手法である。

Frank-Kamenetskii の理論の場合、Semenov の理論より、実験から求められた値に対して、適用が比較的容易であることが想定されるが、この手法を適用するにあたっては、物質が均一であり、熱発生の初期段階において零次反応のように熱の変化があまりない状態と仮定し、行わなければならない。

2-4 熱危険性評価手法

大量に堆積または貯蔵された物品が、発酵もしくは酸化によって発熱し、熱が蓄積され火災に至るまでのプロセスを評価する手法として、既存のものとしては、実物大規模または数分の一スケールのミニチュアを作成し、実験を行うという手法が存在する[27]。

しかし、この手法は費用が高く、時間も長くかかり（最大で 1 ヶ月以上）、再現実験の回数を多くすることが難しい。かつ、測定中に火災や爆発を起し、有毒ガスが大量に発生する可能性が高い[27]。

今回目指したのは、第 1 章の表 1-1 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、低コストで結果を得て、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、研究対象とした試料の物性（発熱特性等）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。

今回用い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[28]-[32]。また、熱危険性が高いものほど堆積中や貯蔵中に十分な安全対策を講じなければならないとされている[28]-[32]。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。

熱危険性評価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、ノウハウを取り入れ、自分自身の業界戦略に還元することができ、より安全に産業活動を行っていきけるのではないかと思われる。

熱危険性評価手法の概略として、高感度な熱分析装置・熱量計等を用いて、100℃以下の温度領域において、火災の引き金となる発熱がみられるか。また、その発熱によって温度上昇していく可能性があるのかの確認を行い、その発熱は、何に起因して生じる発熱であるのかの検討も行った。

さらに、発熱の有無の判別の困難な物品や、潜在的危険性が高く、より詳細な情報が必要なものに関しては、測定に用いる試料量を増やし、実際に発火させてみることも行った。また今回は、貯蔵中や輸送中における発生ガスの危険性も視野に入れるため、試料を任意の温度で保持し、その温度における発生ガスの測定も行った。

2-5 熱危険性評価手法に用いた装置とその測定目的

今回熱危険性評価手法に用いた装置の概略と、測定の目的を以下に示す。熱危険性評価手法には、「熱分析」と「ガス分析」の2つの項目が含まれている。

熱分析とは、物質の温度を変化させその物質の熱的性質を温度の関数として測定する技法であり、ガス分析とは、気体状態の物質を対象として、その中に含まれる成分を定性的もしくは定量的に測定を行うことである[38]-[41]。また、熱危険性評価手法以外に並行して行った、他の化学測定や物理測定については、それぞれ第3章、第4章、第5章において結果と考察を交えて示す。

2-5-1 熱重量・示差熱分析 (TG-DTA)

TG-DTA (Thermo gravimetric - differential thermal analysis) は、試料を加熱しながら、試料が分解や酸化などを起こす際の重量の変化と、発熱や吸熱などの熱変化を同時に検出する装置であり、様々な物質の熱物性の把握に用いられている[33]-[37]。

それぞれについて詳しく述べると、TG(熱重量測定)とは、熱天秤により連続的に温度に対する試料の重量変化曲線を測定することであり、DTA(示差熱分析)とは、加熱によって熱変化を起こさない基準物質と共に、電気炉中において一定速度で加熱しながら、両者の間の温度差を温度の関数として測定する方法である[33]-[37]。

ここでは、試料の含有水分量と熱分解開始温度と全体的な熱挙動を調べるため、TG-DTA(熱重量・示差熱分析同時装置、リガク Thermoplus TG 8120)を用いて測定を行った。DTA 曲線から、熱分解開始温度を読み取る方法として、発熱ピークの最大傾斜の延長線とベースラインとの交点から読み取る方法や、ベースラインから一定の数値以上発熱方向にシフトし始めた、初期の部分を読み取る方法等が存在する。今回は、熱分解を開始する初期の温度に注目したため、後者の方法で読み取りを行った。

約 20 mg の試料を用いて、昇温速度 2 K/min とし、150 ml/min の速度で流す Air 雰囲気中でアルミニウム製開放容器 (0.05 ml) を用いて、室温 (25 °C) ~ 600 °C までの温度範囲で測定を行った。なお、今回の測定には α -アルミナを基準物質として用いた。装置の概要を図 2-3 に示す。

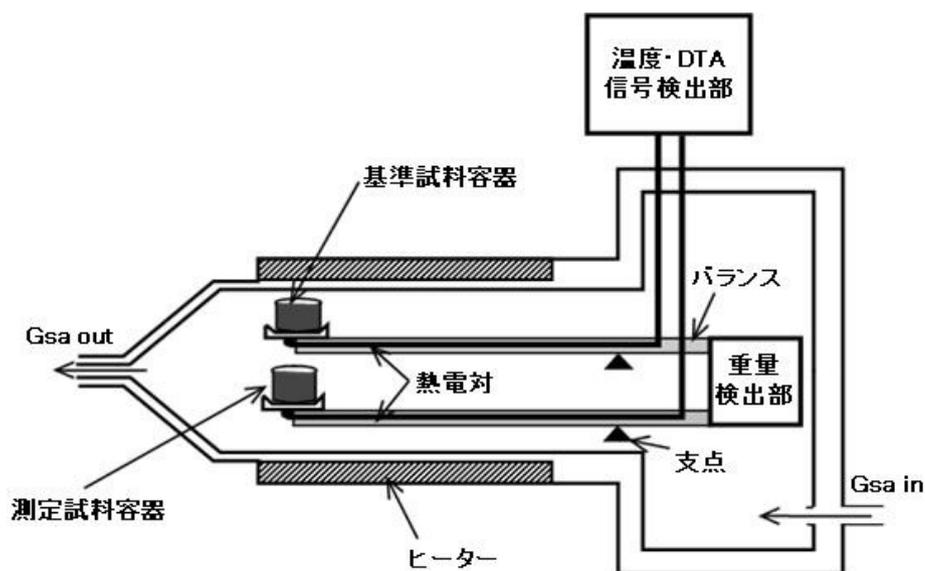


図 2-3 熱重量・示差熱分析装置 (TG-DTA) 概略図

2-5-2 双子型高感度熱量測定 (C80)

C80 (Calvet-type calorimeter 80) 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。熱分析を行うにあたって、多くの試料量を使用できることは、より高い感度で測定を行えるという利点につながる。

その結果、より幅広い温度領域において、試料から生じる発熱・吸熱等の情報を得ることができる[42]-[47]。また、熱流束の測定部分は、約 200 本の熱電対が層状に配置されているサーモパイル (熱電対の集合体) となっており、検出感度が非常に高感度であるため、微弱な発熱の検出も可能である。さらに、耐圧密閉型の試料容器を用いれば、含有水分量の蒸発による吸熱の影響を抑制することができる。

その結果、TG-DTA 測定では、把握が困難であった 100 °C 以下のより詳細な熱挙動と、発熱の有無の情報を得られる。

ここでは、室温から 100 °C までのより詳細な熱挙動と発熱の有無の確認を行うため、双子型高感度熱量計 (Setaram C80) によって、約 1500 mg 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、室温 (25 °C) ~ 300 °C までの温度範囲で測定を行った。装置の概要を図 2-4 に示す。

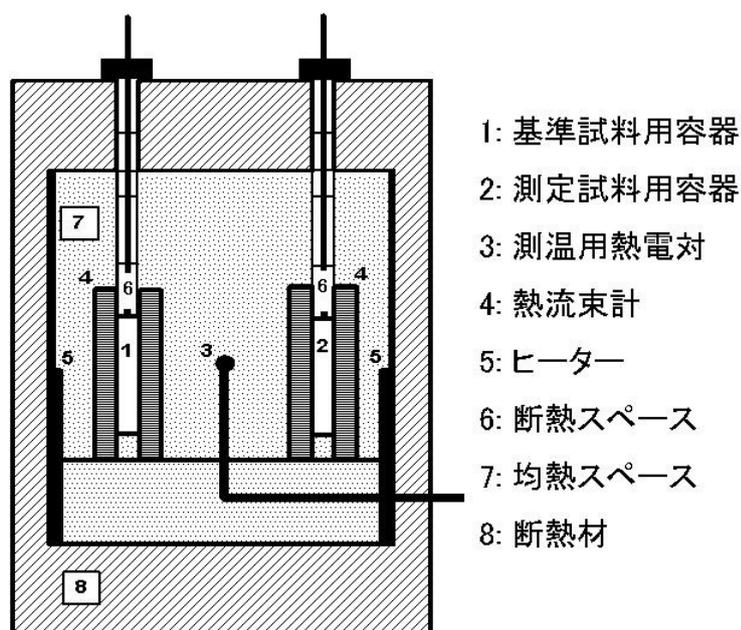


図 2-4 双子型高感度熱量計 (C80) 概略図

2-5-3 等温型高感度熱量測定 (TAM)

TAM (Thermal activity monitor) は、精密に温度制御された恒温槽 (温度変化 ± 0.0001 °C/24 時間) を持つ等温型の高感度な熱量計であり、様々な物質の安定性等の検討に用いられている[48]-[53]。1 つの熱流束測定ユニットは、試料容器部と基準容器部から構成されている。

試料容器と基準容器の温度は、恒温槽の温度と等しくなるように設定されており、試料容器内の試料が熱変化を起こすと試料容器との間に温度差が生じて、それに比例した熱流束が発生する。それを電圧信号として検出し、増幅して記録する。

ここでは、時間変化に伴う、発酵や酸化による発熱の検討をさらに行うため、等温型高感度熱量計 (Thermometric TAM-III) を用いて、約 1000 mg の試料を密閉型試料容器 (4 ml) に入れて、50 °C で 48 ~ 72 時間等温保持し、発熱量の測定を行った。装置の概要を図 2-5 に示す。

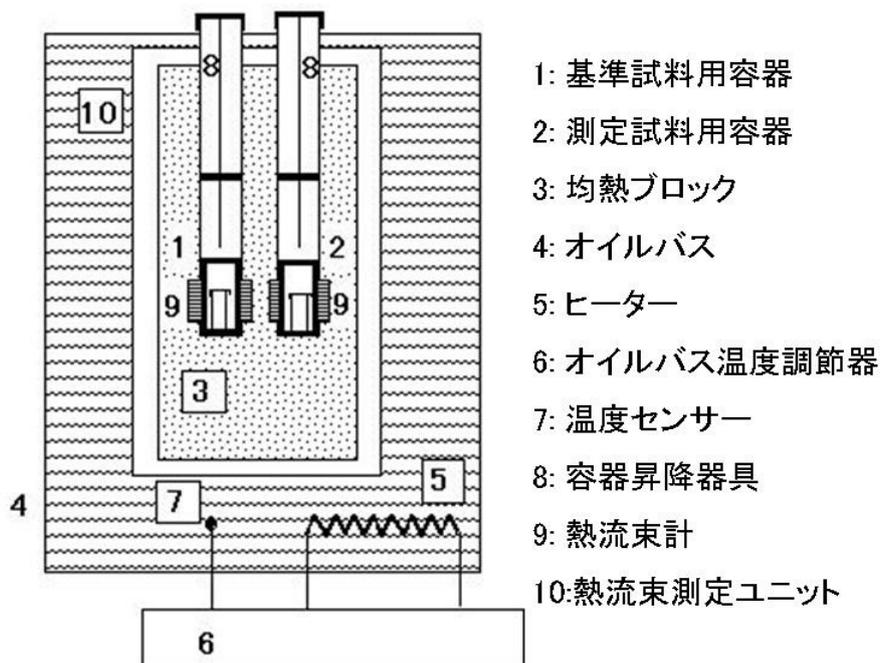


図 2-5 等温型高感度熱量計 (TAM-III) 概略図

2-5-4 自然発火温度測定試験 (SIT)

SIT (Spontaneous ignition tester) は、擬似断熱状態を保ちながら、一定の環境温度で試料を保持した場合、試料が発熱し、その後、温度上昇が発生するかどうかの測定を行う装置であり、琴寄らにより原型が考案された[54]-[56]。測定を行う試料の周囲は、断熱制御用のヒーターで囲まれており、このヒーターが、試料内で発生した熱が外部へ失われる事を防ぎ、試料内に蓄積されるように制御している。

この断熱制御を行うことにより、1 g 以下の試料を用いたとしても、その試料を大量に堆積または貯蔵した場合とほぼ同じ条件下で測定を行える。試料の蓄熱から温度上昇の推移を検討するため、自然発火試験装置 (島津 SIT-2) を用いて測定を行った。

試料を保持する装置の環境温度を設定し、約 500 mg の試料をセルに充填し、試験を行う温度まで試料が反応しないように、5 ml/min で流す窒素雰囲気中の中に 2 時間保持する。その後、実際の堆積または貯蔵条件と同じにするため、雰囲気気を空気に切り替え、2 ml/min の速度で空気を流しながら、温度上昇の有無を調べた。

設定した環境温度において、120 時間までに温度上昇が見られない場合には、試験を終了することとした。装置の概要を図 2-6 に示す。

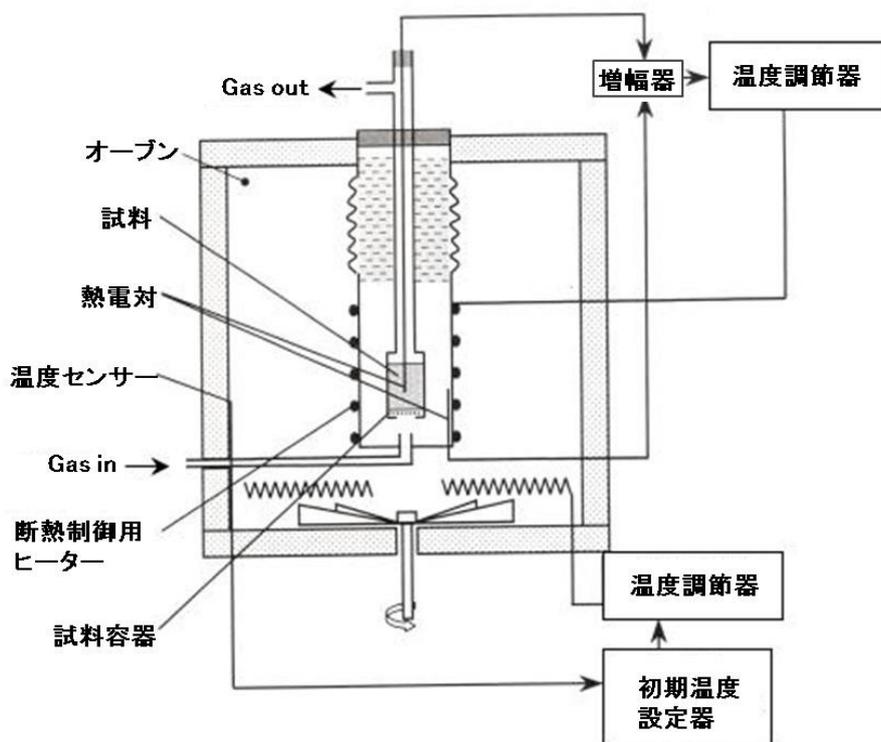


図 2-6 自然発火試験装置 (SIT-2) 概略図

2-5-5 ワイヤーバスケット試験

ワイヤーバスケット法は、国際連合危険物輸送勧告書[57]に規定されている手法である。この試験は、固体物品が空気中において、任意温度で加熱保持された場合、熱分解開始後から燃焼に至るまでを対象として、危険性の判断を行うことを目的としている。

熱分解開始温度は、測定に用いる試料量によって、変化することが考えられるため、SIT 測定約 800 倍に相当する 400 g の試料を一辺が 10 cm の試料容器（ワイヤーバスケット）に入れ、恒温槽内で保持を行い、容器の中心部分の温度測定を行い、設定した温度から 24 時間以内に 60 °C を超える温度上昇の有無を調べた。

設定した環境温度において、24 時間までに温度上昇が見られない場合には、試験を終了することとした。装置の概要を図 2-7 に示す。

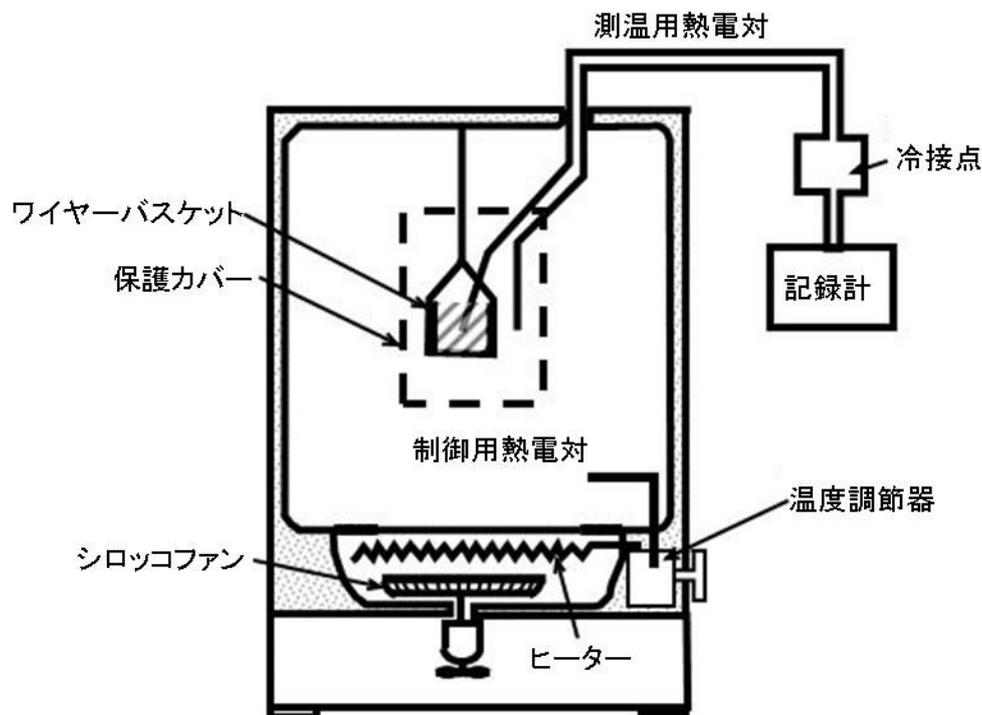


図 2-7 ワイヤーバスケット試験概略図

2-5-6 燃焼熱量測定試験 (C2000)

JIS M8814 (石炭類およびコークス類・ボンベ熱量計による総発熱量の測定方法および真発熱量の計算方法) [58] に準じたボンベ型燃焼熱量計を用いて燃焼熱量の測定を行った。ボンベ型燃焼熱量計は、固体・液体の燃焼熱量を測定する装置であり、試料を高圧酸素を充填したボンベ内部で完全燃焼させ、その際に発生した熱を装置内にある内槽の水に伝えて、その水温上昇から燃焼熱量を計算して求めている。

ここでは、火災時の燃焼の激しさを評価するために、ボンベ型燃焼熱量計 (IKA C2000) を用いて、約 500 mg の試料を、高圧酸素を封入したボンベ内部で完全に燃焼させ、燃焼熱量を求め、この値を、既存の燃えやすい物質の燃焼熱量と比較した。装置の概略を図 2-8 に示す。

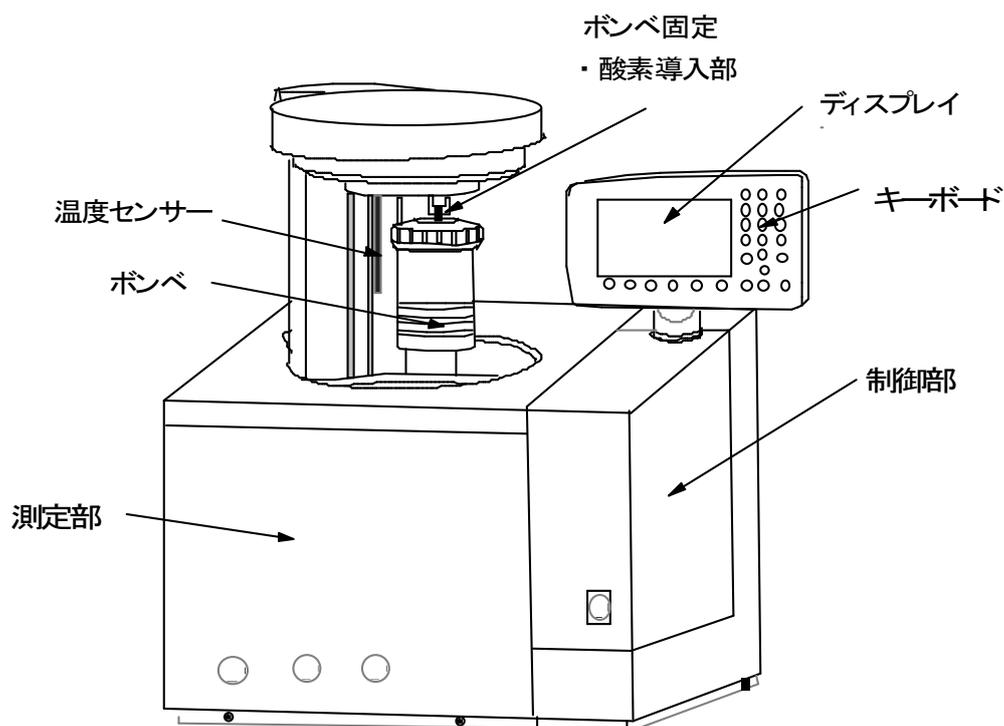


図 2-8 ボンベ型燃焼熱量計 (C2000) 概略図

2-5-7 ガスクロマトグラフ測定 (GC)

GC (Gas chromatography) は、気体の定性や定量に用いられる機器分析手法である [38]-[41]。注入口からシリンジで打ち込まれたサンプルは、キャリアーガスによってカラムまで移動する。クロマトグラフィーの原理によって気体中の各成分は分離され、その後、検出器で電気信号に変換され読み取られる。時間を横軸に、検出器で読み取られる電気信号の強度を縦軸にとることで、おおまかに気体中に含まれるガスの種類や割合の把握を行うことができる [38]-[41]。

ここでは、発生ガスから発酵の可能性を検討するため、約 50 g の試料を 1 l のガラス瓶中に詰め、 25 ± 5 °C 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 (島津 GC-14B) により分析を行った。ガラス瓶中の発生ガスを採取する際、空気の流入による発生ガスの濃度の変化を避けるため、図 2-9 に示すような方法で、ガラス瓶中のガスをテドラーバッグに採取した。

その後、テドラーバッグにシリンジを接続し、採取したガスを均一に混合した後、ガスクロマトグラフに注入した。標準ガス ($\text{CO} : 0.0500 \%$ $\text{C}_2\text{H}_6 : 0.995 \%$ $\text{H}_2 : 0.0997 \%$ $\text{CO}_2 : 0.996 \%$ $\text{CH}_4 : 0.987 \%$) を用いて、校正を行い、カラムは SHINCARBON-ST (2.0m×3.0mmφ)、検出器は、TCD (200 °C)、感度は 50 mA、キャリアーガスは、Ar (20 ml/min)、カラム温度は 40 °C (6 min. hold) ~ 80 °C (12 min. hold) ~ 150 °C (10 min. hold) の範囲で 40 °C/min で昇温させ測定を行った。

また、 O_2 と N_2 の分析には、Air ボンベ ($\text{O}_2 : 21 \%$ $\text{N}_2 : 79 \%$) を標準ガスに用いて行った。検出器は TCD (200 °C)、感度は 30 mA、キャリアーガスは Ar (20 ml/min)、カラム温度は 30 °C で等温保持して測定を行った。

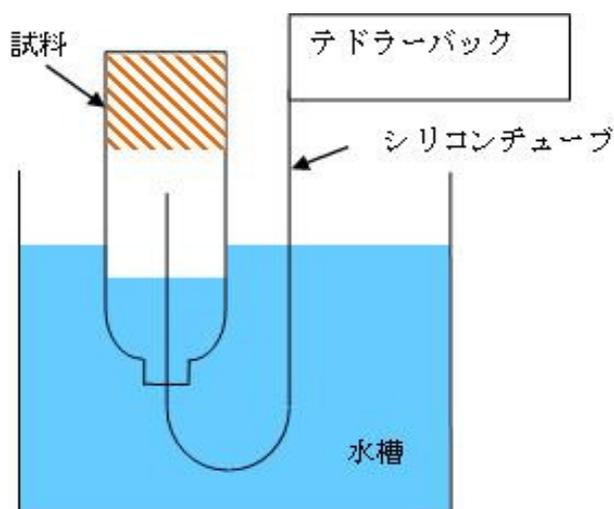


図 2-9 発生ガス採取方法概略図

また、今回用いた装置の感度等をまとめたものを表 2-1 に示す。表に示される装置の相対感度 μW は、その値が小さいものほど検出性能が高いことを示す。

ボンベ型燃焼熱量計とガスクロマトグラフに関しては、他の装置と比較して相対感度として表すことが難しいため、除外してある。

表 2-1 熱危険性評価手法に用いた装置の感度等

名称	装置の相対感度 (μW)	測定容器のサイズ (ml)	測定可能温度領域 ($^{\circ}C$)	測定仕様
TG-DTA	10 - 30	0.05	室温 - 1000	昇温測定
C80	2	8	室温 - 300	昇温測定
TAM-III	0.2	4	室温 - 150	等温測定
SIT-2	5 - 10	2	室温 - 400	擬似断熱測定
ワイヤーバスケット	使用する熱電対に依存	1000	室温 - 1000	等温測定

参考文献

- [1] 箕浦康子編, “フィールドワークの技法と実際マイクロ・エスノグラフィー入門”, ミネルヴァ書房 (1999)
- [2] 好井裕明他編, “社会学的フィールドワーク”, 世界思想社 (2004)
- [3] アジア農村研究会編, “学生のためのフィールドワーク入門”, めこん (2005)
- [4] 松岡路秀他編, “巡検学習・フィールドワーク学習の理論と実践地理教育におけるワンポイント巡検のすすめ”, 古今書院 (2012)
- [5] 小林浩二著, “地域研究とは何かフィールドワークからの発想”, 古今書院 (2012)
- [6] 東京消防庁, “新火災調査教本第4巻”, 東京防災指導協会 pp.4-5 (2007)
- [7] 火災調査技術向上研究会, “これは覚えてたい火災調査書類の図面作成塾”, 東京法令出版 (2008)
- [8] 東京消防庁, “火災調査参考図 調査に役立つ物品名鑑”, 東京法令出版 (2010)

- [9] 東京消防庁, “火災調査ポケット必携 現場で役立つ実務資料集”, 東京法令出版 (2011)
- [10] 防災行政研究会編, “火災報告取扱要領ハンドブック 11 訂版”, 東京法令出版 (2013)
- [11] C.P. Beistle, “Spontaneous Heating and ignition in transportation by railroad”, NFPA and US Dept. of Agriculture, pp. 40-45 (1929)
- [12] P.H. Thomas and P.C. Bowes, “Power, Some aspects of the self-heating and ignition of solid cellulosic Materials”, *Journal of Applied Physics*, 12 (5), pp. 222-229 (1961)
- [13] H. P. Rothbaum, “Spontaneous combustion of hay”, *Journal of Applied Chemistry*, 13, pp.291-302 (1963)
- [14] P.C. Bowes, “Application of the theory of thermal explosion to the self-heating and ignition of organic materials”, *Fire Research Note* 867 (1971)
- [15] 平野敏右著, “燃焼学”, pp.96-102 (2005)
- [16] D.Drysdale, “FIRE DYNAMICS Third Edition”, WILEY pp.317-324 (2011)
- [17] D.Gross, A B. Amster, “Thermal explosions: Adiabatic self-heating of explosives and propellants” *Symposium (International) on Combustion*, 8(1) pp. 728-734 (1961)
- [18] 大和市消防本部, “ショッピングセンター生ごみ処理室爆発事故の概要”, 東京法令出版 月刊消防 28(2) pp.11-16 (2006)
- [19] X.R. Li., H. Koseki. and Y. Iwata. “Risk Assessment on Processing Facility of Raw Organic Garbage, *Journal of Hazardous Materials*”, 154 (1-3): pp.38-43 (2008)
- [20] 駒宮功額, “温暖化と自然発火などの事故について”, 日本保安用品協会 セイフティダイジェスト 53(5) pp.7-12 (2007)
- [21] 鶴田俊, “自然発火現象について”, 日本火災学会 火災 pp.37-39 (2009)
- [22] 山本祐子, “廃棄した天ぷら油が自然発火した火災”, 日本火災学会火災 57(2) pp.51-56 (2007)
- [23] 長谷川秀夫, “オイルが付着した洗濯物の自然発火現象について”, 日本繊維製品消費科学会 繊維製品消費科学 50(7), pp.546-551 (2009)
- [24] 藤田辰也, “アロマオイルからの自然発火”, 日本火災学会火災 61(1) pp.50-53 (2011)
- [25] N.N. Semenov, “Theories of Combustion Process”, *Journal of Physik* 48 (1928)
- [26] D.A Frank–Kamenetskii’s, “Diffusion and Heat Transfer in Chemical kinetics”, pp.374 (1969)

- [27] J. Barton and R. Rogers, “Chemical reaction hazards, second edition”, Institution of Chemical Engineers (1997)
- [28] 森崎繁, 駒宮巧額, 内藤道夫, “反応性物質の熱安定性に関する研究－熱分析及び断熱測定”, 産業安全研究所 特別研究報告 (1983)
- [29] 森崎繁, 安藤隆之, “化学物質の熱危険性の解析と予測”, 産業安全研究所安全資料 (1988)
- [30] 三宅淳巳監, “化学プロセスの熱的リスク評価”, 丸善 (2011)
- [31] 新井充他著, “実践・安全工学-物質安全の基礎”, 化学工業日報社 (2012)
- [32] 田村昌三, “化学プロセス安全ハンドブック”, 朝倉書店 (2012)
- [33] 真空理工株式会社, “熱分析実験入門”, 科学技術社 pp.1-16 (1982)
- [34] 田村昌三, 新井充, 阿久津好明, “エネルギー物質と安全”, 朝倉書店 pp.12 (1999)
- [35] 神戸博太郎, 小沢丈夫, “新版熱分析”, 講談社 pp.10-23 (2001)
- [36] 日本熱測定学会, “熱量測定・熱分析ハンドブック”, 丸善 pp.19-22 (2005)
- [37] アルバック理工(株), “最新熱測定”, アグネ技術センター pp.17-27 (2007)
- [38] 日本分析化学会ガスクロマトグラフィー研究懇談会編, “ガスクロ自由自在 Q&A 準備・試料導入編”, 丸善 (2007)
- [39] 日本分析化学会ガスクロマトグラフィー研究懇談会編, “ガスクロ自由自在 Q&A～分離・検出編～”, 丸善 (2007)
- [40] 日本分析化学会ガスクロマトグラフィー研究懇談会編, “役に立つガスクロ分析”, みみずく舎 (2010)
- [41] 内山一美他著, “ガスクロマトグラフィー分析化学実技シリーズ機器分析編”, 共立出版 (2012)
- [42] 荒井涼, “岩土の浸漬熱,吸着熱に関する実験的研究-1-特に双子型熱量計の熱特性より土壌吸着熱への適用問題点について”, 富山県立技術短期大学研究報告 (18) p100-106 (1985)
- [43] 荒井涼, “泥岩土の浸漬熱,吸着熱に関する実験的研究 2 特に双子型熱量計を使用した土壌浸漬熱,吸着熱特性について”, 富山県立技術短期大学研究報告 (19) p59-65 (1986)
- [44] Y.H. Yu and K. Hasegawa, “Derivation of the self-accelarating decomposition temperature for self-reactive substances using isothermal calorimetry” , Journal of Hazardous Materials, 45 (2-3) pp.193-205 (1996)

- [45] Y.F. Li and K. Hasegawa, "On the Thermal decomposition Mechanism of self-reactive materials and the evaluating methods for their SADTs", 9th Intl. Symp. on Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries, pp. 555 (1998)
- [46] J.H. Sun, Y.F. Li and K. Hasegawa, "A study of self-accelerating decomposition temperature (SADT) using reaction calorimetry", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 14 (6) pp.331-336 (2001)
- [47] X.-R. Li and H. Koseki, "Hazard Evaluation of Organic Peroxides and Self-reactive Materials by the Combination of the Pressure and Heat Flux Measurement", *Thermochimica Acta*, 423 (1-2) pp.77-82 (2004)
- [48] 吉橋泰生, 増田孝明, 松丸修平, 森本陽子, 米持悦生, 寺田勝英, "等温微少熱量計による固体医薬品の安定性と賦形剤との配合変化の評価法", *Journal of Pharmaceutical Science and Technology, Japan* 64(6) pp.370-379 (2004)
- [49] X.-R. Li and H. Koseki, "SADT Prediction of Autocatalytic Material using Isothermal Calorimetry Analysis", *Thermochimica Acta*, 431 (1-2) pp.113-116 (2005)
- [50] X.-R. Li and H. Koseki, "Accuracy of thermal decomposition kinetic of organic peroxides based on isothermal measurements in highly sensitive calorimetry", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 85 (3) pp.637-642 (2006)
- [51] 東京消防庁消防技術安全所, "現場活動を科学的に分析! 月刊消防 Laboratory 等温微少熱量計を用いた火災原因の究明及び危険物評価手法について", 東京法令出版 月刊消防 29(5) pp.52-57 (2007)
- [52] J-M Tseng, C-Min Shu, "Isothermal kinetic evaluation of methyl ethyl ketone peroxide mixed with acetone by TAM III tests", *Thermochimica Acta*, 507, pp. 45-48 (2010)
- [53] S-H. Liu, H-Y. Hou, J-W. Chen, S-Y. Weng, Y.C- Lin, C-M. Shu, "Effects of thermal runaway hazard for three organic peroxides conducted by acids and alkalines with DSC, VSP2, and TAM III", *Thermochimica Acta*, Available online (2013)
- [54] 琴寄崇, "自然発火試験装置を用いて熱発火限界温度を算出する試み", *安全工学* 20(1) pp.9-15 (1981)
- [55] T. Kotoyori. "Critical Ignition Temperature of Wood Sawdust Layers", *Industrial Safety Institute Report* 85(4) pp.33-44 (1985)

- [56] T, Yoshida. “Safety of Reactive chemicals”, Elsevier Science pp.197-200 (1995)
- [57] The United Nations, “Recommendations on the Transport of Dangerous Goods”,
Manual of Tests and Criteria 4th edition (2003)
- [58] 日本規格協会編, “JIS ハンドブック 省・新エネルギー”, 日本規格協会 (2004)

第3章

熱危険性評価手法を用いた災害廃棄物の 自然発火に関する研究

3-1 緒論

3-1-1 東日本大震災で生じた災害廃棄物と仮置き場

2011年3月11日（金）の14時46分に発生した東日本大震災は、宮城県牡鹿半島の東南東沖130kmの海底を震源として起こった、大災害の総称である。気象庁の発表によると、地震の規模を示す、モーメントマグニチュードは、M9.0であり、日本周辺における観測史上最大の値と報告されている[1]。

東日本大震災による地震・津波被害に伴って生じた想定外の1つとして取り上げられ、2013年現在でも対応に苦慮しているものの1つとして、災害廃棄物の大量発生が挙げられる。廃棄物処理法[2]-[3]では、廃棄物を産業廃棄物とそれ以外の一般廃棄物に分類しているが、災害廃棄物については、廃棄物処理法において明確な定義づけはなされておらず、自然災害に伴い発生した不要になったものを意味するとされている[4]-[5]。また、災害廃棄物はその発生源により、主に以下のように分類される[6]。

- ① 被災家屋から発生する不要となったもの
- ② 家屋の損壊、または解体に伴って発生するもの
- ③ 避難生活において発生する生活ごみやし尿
- ④ 道路、橋梁などの社会資本の損壊に伴い発生するもの
- ⑤ 斜面崩壊、倒木などの自然物に由来するもの

また、近年発生した地震における被害状況と災害廃棄物の発生量をまとめたものを表3-1に示す[7]。表3-1を見てみると、災害廃棄物の排出特性として、日常排出される一般廃棄物と比較して発生量が膨大であり、短期間に発生し、種々雑多な廃棄物が、混在して排出されることが挙げられる。

表 3-1 最近の地震とそれに伴って生じた災害廃棄物

名称	阪神・淡路大震災	新潟中越地震	能登半島地震	新潟中越沖地震
発生日時	1995年 1月17日	2004年 10月23日	2007年 3月25日	2007年 7月16日
マグニチュード	7.3	6.8	6.9	6.8
主な被災地域	神戸市 西宮市 淡路島	長岡市 旧山古志村 小千谷市	輪島市 七尾市 志賀町	柏崎市 刈羽村
災害廃棄物量	20000000 t	494979 t	石川県 430963 t	360228 t
平常時の年間 廃棄物排出量 (2006年)	兵庫県 2510000 t	新潟県 1121000 t	石川県 497000 t	新潟県 1121000 t

東日本大震災で生じた災害廃棄物の、撤去作業はボランティアや海外からの支援もあり、2013年現在も進行中である。撤去された災害廃棄物は、焼却や埋め立て処理されることになっているが、急に大量に生じた災害廃棄物を処理するためには、現有の設備と処理能力では十分でないことが現状であった。

このため、被災地では、1次的に災害廃棄物を堆積し、分別後に処理するための仮置き場を数多く設置した。2012年1月31日時点では、岩手・宮城・福島 の3県では、合計297か所、約973ha(東京ドーム207個分相当)の仮置き場が存在していたと報告されている[8]。

例として、宮城県の仮置き場の分布を図3-1に、各仮置き場において、東日本大震災発生から、約半年後に撮影された各仮置き場の状況を図3-2～図3-9に示す。

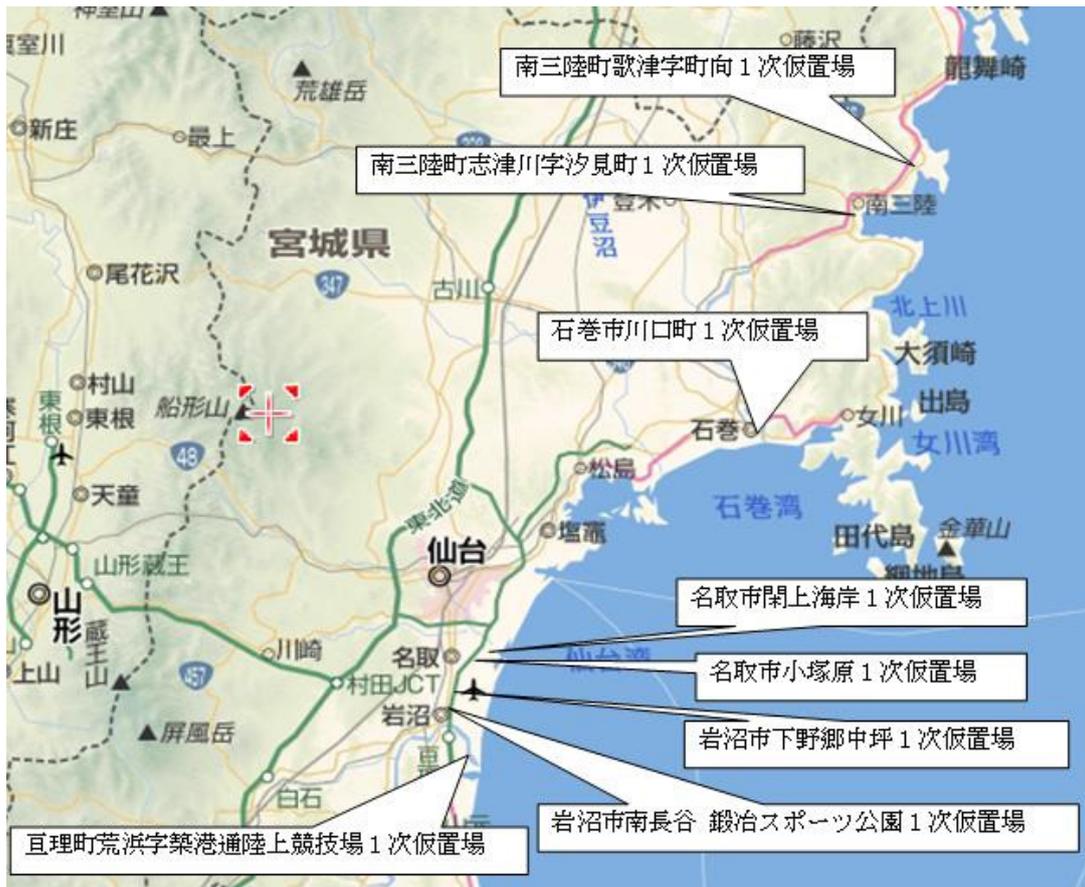


図 3-1 宮城県の仮置き場の分布 (2011年9月時点)



図 3-2 南三陸町歌津字町向 1次仮置場



図 3-3 南三陸町志津川字汐見町 1 次仮置場



図 3-4 石巻市川口町 1 次仮置場



図 3-5 名取市閑上海岸 1 次仮置場

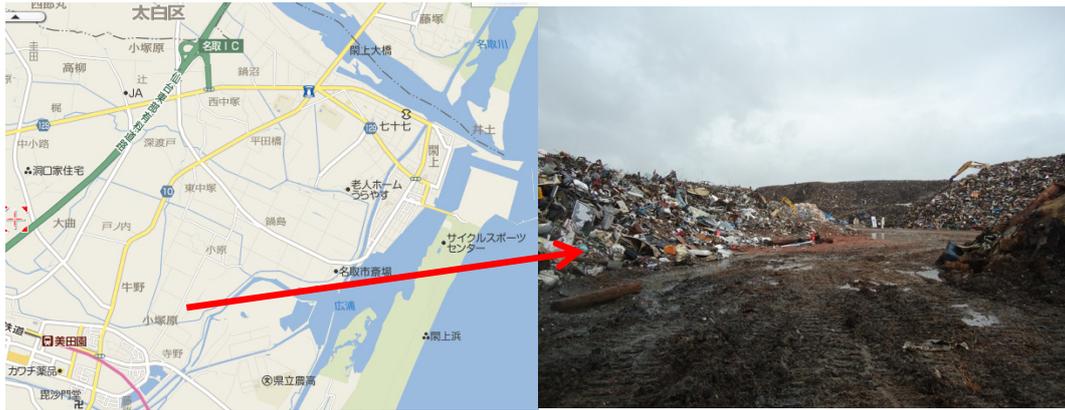


図 3-6 名取市小塚原 1 次仮置場



図 3-7 岩沼市下野郷中坪 1 次仮置場



図 3-8 岩沼市南長谷 鍛冶スポーツ公園 1 次仮置場



図 3-9 亘理町荒浜字築港通陸上競技場 1 次仮置場

今後、日本国内において発生が危惧されている地震として、南海トラフ周辺で発生するものと首都直下型によるもの等が挙げられる[9]-[15]。例えば、東京都等の首都圏では、建築物が狭い土地に密集しているため、災害廃棄物の単位面積あたりの発生量は、膨大なものとなることが想定される[16]-[18]。危機管理・リスク管理の3要素の1つである「事前対策」の観点から考えると、防災計画等の中で地震を含めた様々な災害により、どの程度の災害廃棄物が発生するかを事前に検討し、発生量を予測しておくことは、重要である。

上述したように、災害廃棄物は、種々雑多で多量の廃棄物が急激に発生するため、処理・処分を行うまでの一時保管場所としての仮置場が設置されることが多い。また、復興・復旧までに時間がかかり、被災地に埋没もしくは放置されたままになってしまう災害廃棄物が発生することも想定される。さらに、こうした災害廃棄物が仮置き場において、土壌・地下水等へ与える悪影響についても懸念されている[19]。このことから、発生量の予測のみを行うのではなく、予測された値から様々な状況を想定し、環境問題等を踏まえ仮置き場の選別を行うことが望ましい。

3-2 災害廃棄物の仮置き場で頻発する自然発火

災害廃棄物は、管理が徹底されていなかった場合、火災や爆発等の事故を発生させる可能性が高いことが想定される。過去に日本国内では、大量に不法投棄された廃棄物を堆積させたものから出火した事例が報告されている[20]-[21]。実際に東日本大震災から、半年経過した9月頃になって、新聞やメディア等が災害廃棄物の仮置き場で火災(図3-10)が相次いで発生している、ということを報じるようになってきた[22]-[24]。

そこで、2011年9月29日に災害廃棄物の仮置き場での現状を把握するため、火災が発生した宮城県名取市の、閑上と小塚原にある災害廃棄物の仮置き場で、第1回目の現地調査を、名取市消防本部、行政の担当者、処理を担当する事業者と共に行った。閑上と小塚原の仮置き場で発生した火災の概要を資料1に示す。

現地調査を行った際に撮影した写真を、図3-11～図3-18に示す。図3-11に示すように火災が発生した未分別の堆積物からは、ショベルカーを使つての分別作業の間にも多数の地点で蒸気が立ち上っていた。

分別の終わったものは、図3-12～3-18に示すように各物品ごとに、それ専用の山に積み上げられる。災害廃棄物の仮置き場のスペースは限られており、震災後の処理計画の当初としては、とにかく積み上げるしか選択肢がなかったのだろうということが強く感じられた。



図 3-10 宮城県名取市災害廃棄物仮置き場火災



図 3-11 名取市閑上海岸 1 次仮置き場
(未分別の堆積物)



図 3-12 名取市閑上海岸 1 次仮置き場
(廃タイヤ置き場)



図 3-13 名取市閑上海岸 1 次仮置場
(混合廃棄物置き場)



図 3-14 名取市閑上海岸 1 次仮置場
(スクラップ金属置き場)



図 3-15 名取市閑上海岸 1 次仮置場
(魚網置き場)



図 3-16 名取市閑上海岸 1 次仮置場
(木材チップ置き場)



図 3-17 名取市小塚原 1 次仮置場
(家屋ボード類置き場)



図 3-18 名取市小塚原 1 次仮置場
(廃置置き場)

3-3 災害廃棄物に起因する火災とその推移（2011年3月11日～2012年3月11日）

数回の現地調査を終え、出火原因の検証を行っていく過程において、当初出火原因の有力候補として挙げられたのが、「発酵熱」によるものである。その原因の概略としては、堆積されている災害廃棄物の中には、微生物が繁殖しやすいものが多数存在し、それらが発酵することで熱が発生して、その発生した熱が引き金となって温度上昇が起こり、火災に至っている可能性が高いと推定された。

そこで、東日本大震災が発生した2011年3月11日の当日から、どの程度災害廃棄物に起因する火災等の事故（仮置き場とそれ以外を含む）が発生しているのかを把握するため、翌年の2012年3月11日までを対象として、消防研究センターの協力を得て、聞き取り調査を行った[25]。対象とした地域は、北海道、青森県、岩手県、宮城県、秋田県、山形県、福島県、茨城県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、の13の地域を対象とした。これは、調査時点までに、東日本大震災で火災が発生したと考えられる情報を消防研究センターが把握していた地域である。

調査項目は、出火日時、出火場所の住所（町丁目・字まで）、火災の概要、地震との関係（直接的な要因もしくは間接的要因）、津波被害の有無等である。該当する火災を所管する消防機関が、火災一件につき、一葉の調査用紙に記入する形とした。平成24年6月下旬に消防研究センターから上述した地域の消防機関に対して、調査への協力を依頼した[25]。

政令市消防局（札幌市、仙台市、さいたま市、千葉市、横浜市、川崎市、相模原市）および東京消防庁は直接、それ以外の消防機関にはその地域ごとの行政に取りまとめを依頼した[25]。表3-2に災害廃棄物に起因する火災等の事故をまとめたものを示す。また、表を基にして月別の発生件数をまとめたものを図3-19に示す。結果より、46件の災害廃棄物に起因する火災や爆発等の事故が存在することがわかった。

表3-2 災害廃棄物に起因する火災等（2011年3月11日～2012年3月11日）

月日	場所	時間帯	火災の概要
2011年 3月11日	宮城県仙台市 宮城野区 港1丁目	17時10分	津波により浸水した金属片から 出火し、約900m ³ が消失

2011年 3月13日	宮城県気仙沼市 松崎浦田	17時45分	タバコの投げ捨てにより出火
2011年 3月14日	宮城県気仙沼市 内の脇1丁目	22時00分	津波により流出した車両等から出火
2011年 3月26日	宮城県仙台市 若林区今泉	14時38分	集積場の災害廃棄物 1 m ³ が焼失
2011年 3月29日	宮城県気仙沼市 南郷	1時30分	津波により流出した車両等から出火
2011年 4月10日	宮城県石巻市 新館2丁目	8時25分	撤去作業のためエンジンカッター を使用していたところ火花が周囲の 災害廃棄物に着火し、出火した
2011年 4月11日	宮城県石巻市 南境字大塚	8時42分	仮置き場において、ブルドーザーで 作業中、スプレー缶を踏み潰し、 漏れたガスに引火し約 2 m ³ が炎上
2011年 4月13日	宮城県石巻市 重吉町	19時50分	津波により使用不能となった、薬品類を 廃棄のため集積しておいたところ、混触 し発熱後に出火した
2011年 4月16日	宮城県亶理町 荒浜字西木倉 地内	14時30分	津波により流れ着いた災害廃棄物を 焼却していたところ、別の場所に 飛び火し炎上
2011年 5月6日	宮城県仙台市 青葉区芋沢	15時01分	集積されていた可燃物（布団・本棚等） 約 1200 m ³ が焼失

2011年 5月9日	宮城県亙理町 吉田字砂浜地内	18時30分	畳30枚が炎上
2011年 5月15日	宮城県亙理町 吉田字大道地内	16時30分	津波の影響により用水路に流れ着いた 枯草等を焼却中周囲の枯草に燃え広が ったもの
2011年 5月17日	宮城県石巻市 小網倉浜小網倉	15時45分	アセチレンガス切断機で船舶の部品を 溶断中に船舶燃料（軽油）が接触し出火
2011年 5月19日	宮城県石巻市 前網浜前網	12時10分	廃棄物を焼却中、風にあおられ飛火し 炎上
2011年 5月21日	宮城県東松島市 大曲字南浜	19時29分	野積みされた災害廃棄物からの自然 発火による火災
2011年 6月7日	宮城県石巻市 雄勝町 雄勝字船戸神明	16時37分	廃材 50 m ³ を焼失
2011年 6月28日	宮城県石巻市 貞山2丁目	10時44分	スプレー缶をプレスする際、火花が発生 し可燃性ガスに引火し周囲のゴミに燃 え移った
2011年 7月10日	宮城県気仙沼市 幸町2丁目	12時20分	放火
2011年 7月11日	宮城県石巻市 雲雀野町2丁目	18時57分	過硫酸アンモニウムが可燃物 などと接触し、発熱後出火

2011年 8月8日	宮城県石巻市 重吉町	0時32分	野積みされた廃材が雨等により水分を含み、内部の木材片や畳等が発酵および酸化し発熱して出火
2011年 8月12日	宮城県牡鹿郡女 川町石浜字高森	20時16分	解体中の工場内および屋外にあった災害廃棄物から出火し約5m ³ を焼失
2011年 8月18日	宮城県亘理町 吉田字砂浜地内	7時30分	野積みされている畳の集積場より出火
2011年 8月23日	宮城県石巻市 渡波字長浜9番 地内長浜地区 仮置場	20時29分	野積みされた廃材が雨等により水分を含み、内部の木材片や畳等が発酵および酸化し発熱して出火
2011年 8月27日	宮城県気仙沼市 朝日町地内	13時45分	堆積された畳や木材等の有機物の発酵が進行しそれに伴い内部の堆積物が発熱後出火
2011年 8月28日	宮城県気仙沼市 波路上内沼	19時30分	混合廃棄物より出火
2011年 9月4日	宮城県石巻市 雲雀野町2丁目	8時27分	仮置場に野積みされた畳が雨により発酵し熱が蓄積され自然発火に至り周囲の畳に燃え広がった
2011年 9月7日	宮城県仙台市 宮城野区蒲生	18時00分	木質系廃棄物から出火し1200m ³ 焼失
2011年 9月11日	宮城県気仙沼市 波路上内沼	6時30分	混合廃棄物より出火

2011年 9月16日	宮城県名取市 関上字東須賀	7時39分	堆積された災害廃棄物の内部で可燃性ガスが蓄積され無炎燃焼状態の地中火災となりその後有炎燃焼となる
2011年 9月18日	宮城県東松島市	18時01分	野積みされた災害廃棄物からの自然発火による火災
2011年 9月19日	宮城県名取市	3時06分	堆積された災害廃棄物の内部で可燃性ガスが蓄積され無炎燃焼状態の地中火災となりその後有炎燃焼となる
2011年 9月22日	宮城県東松島市	2時45分	野積みされた災害廃棄物からの自然発火による火災
2011年 9月22日	宮城県名取市 小塚原字西土手	5時59分	堆積された災害廃棄物の内部で可燃性ガスが蓄積され無炎燃焼状態の地中火災となりその後有炎燃焼となる
2011年 9月25日	宮城県亘理町 吉田字砂浜地内	9時00分	仮置き場において野積みされた災害廃棄物から出火
2011年 9月27日	宮城県石巻市 成田字成沢	14時46分	野積された災害廃棄物の内部から自然発火し震災ごみ5760 m ³ が焼失したもの
2011年 9月28日	宮城県石巻市 湊字御所入山	5時27分	野積みされた災害廃棄物の内部温度が上昇し出火
2011年 10月12日	岩手県下閉伊郡 山田町船越第 7地割	5時30分	堆積された災害廃棄物の内部で可燃性ガスが蓄積され無炎燃焼状態の地中火災となりその後有炎燃焼となる

2011年 11月3日	宮城県仙台市 宮城野区蒲生	8時01分	プラスチック系混合廃棄物より出火
2011年 11月13日	宮城県山元町 山寺字西牛橋 41-24	17時00分	津波の被害を受けた畑の枯草より出火
2011年 11月28日	宮城県宮城郡 利府町森郷	7時00分	木片、畳、藁などが発酵し出火
2011年 12月10日	岩手県陸前高田 市高田町字中宿	3時50分	津波により発生した災害廃棄物 約70000 m ³ より自然発火し 17日間炎上後鎮火
2012年 1月21日	宮城県多賀城市 宮内1丁目	9時00分	混合廃棄物より出火
2012年 2月14日	宮城県南三陸町 歌津字管の浜	11時00分	混合廃棄物より出火
2012年 2月27日	宮城県多賀城市 宮内1丁目	4時30分	混合廃棄物より出火
2012年 3月2日	宮城県多賀城市 宮内1丁目	13時13分	混合廃棄物より出火
2012年 3月30日	宮城県仙台市 若林区 荒浜字今切	6時30分	畳が堆積された場所より出火し 畳2000 m ³ 焼失

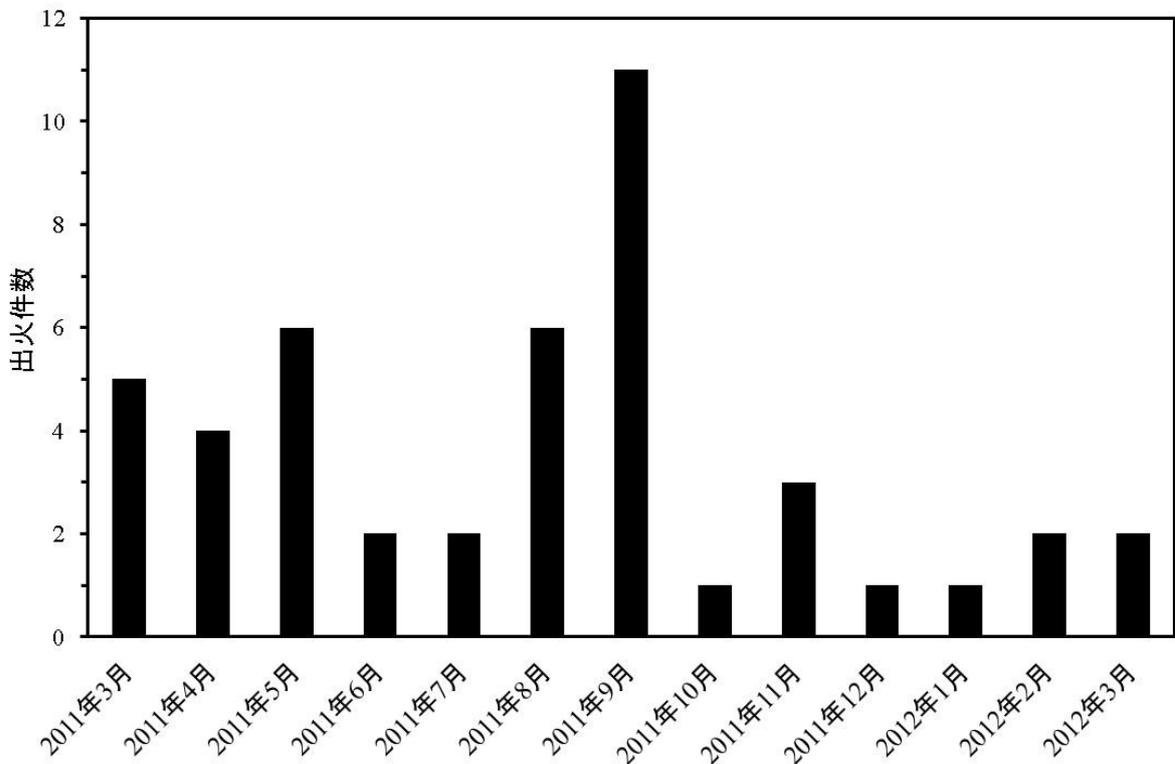


図 3-19 災害廃棄物に起因する火災等の事故 (2011年3月11日～2012年3月11日)

表 3-2 と図 3-19 を見てみると、災害廃棄物に起因する火災等の事故は、大部分が仮置き場で発生していることがわかった。また、細かく見ていくと、東日本大震災が発生した 3 月においては、海水を被ったことにより、バッテリー等がショートし出火した事例がみられた。4 月～5 月にかけては、復旧や災害廃棄物の撤去作業時に生じたヒューマンエラー等に起因する失火や、草木質系の災害廃棄物（木材や畳等）からの自然発火 [26]-[30] がみられた。

その後、6 月～7 月にかけては前月までと比較して、発生件数の低下がみられた。しかし、8 月～9 月にかけては、再び発生件数に増加がみられた。特に、災害廃棄物の仮置き場において、混合系廃棄物や草木質系の災害廃棄物を堆積させた場所からの出火が、ほぼ 3 日おきに各地で発生している。その後 10 月に入って、出火件数が急激に少なく

なり、翌年の 2012 年 3 月 11 日にかけて、混合系廃棄物や草木質系の災害廃棄物を堆積させた場所からの出火が数件みられた。

3-4 熱危険性評価手法を用いた発酵可能な災害廃棄物の危険性評価

3-3 で、災害廃棄物の仮置き場における火災は「発酵熱」に起因して発生している可能性が高いということを述べたが、発酵を引き起こす可能性のあるものを大量に貯蔵もしくは堆積させた場合、真夏前後に自然発火を発生させる可能性が高くなる、という事が報告されている[31]-[32]。

大量堆積物の発酵に起因する火災を防ぐために最も重要なことは、「内部からの発熱< 表面からの放熱」を維持することであり、この不等号が逆転することで蓄熱が進行し火災に至る。また、堆積高さを 5 m 以下にすることで、自然発火発生の危険性を大幅に軽減できる可能性が高いことも報告されている[33]-[34]。

大量堆積物における既存の安全評価手法の 1 つとして Frank-Kamenetskii の理論[35]等を用いて、数値計算により、どれくらい堆積させたら、周囲温度何°Cで自然発火に至る可能性があるかの推定を行う手法が存在する。しかし、この手法は単一の物質が堆積されている場合には、適用が可能であるが、災害廃棄物のように複数のものが混在して堆積されている場合には、適用が難しいことが報告されている[36]-[37]。さらに、被災地では、仮置き場に使用できる場所は限られており、堆積高さの制限を行うことが難しい場所が多数存在する。

上述した事を踏まえ、今回はどの物品が一番発熱しやすく、自然発火への引き金となりやすいのかを把握することが、危機管理・リスク管理を踏まえた安全対策を立案するうえで重要であると思われる。

そこで、第 2 章で述べた熱危険性評価手法を用いて、どの物品が一番発熱しやすく、管理を厳しくしなければならないのか、発熱が始まってしまった堆積物に対しては、どのような対処を行えばいいのか、また、広域処理を行うにあたって、輸送中に火災もしくはその他の事故を発生させる可能性があるのか等の検証を行った。

さらに、得られた総合的な結果より、第 6 章において、今後発生しうる広域災害を想定し、災害廃棄物の観点から東日本大震災で生じた危機管理・リスク管理の不備を踏まえ、様々な事前対策を立案することも目的とした。

3-4-1 検討に用いた災害廃棄物

今回、熱危険性評価手法の対象とした試料の一覧を図 3-20 ～ 図 3-24 に示す。表 3-2 を見てみると、混合系廃棄物や草木質系廃棄物（木材や畳等）からの出火が目立っている。

そこで今回は、主にそれらの堆積物や出火地点から、現地調査を行った際に採取した試料を用いた。「閑上腐食畳」に関しては、2011 年 9 月 16 日に火災が発生した混合系廃棄物の堆積場所から試料の採取を行った。

「閑上木材チップ」に関しては、2011 年 9 月 19 日に火災が発生した混合系廃棄物の堆積場所から試料の採取を行った。この木材チップは、集められた木質の災害廃棄物類をチップ状にしたものである。「小塚原腐食畳」と「小塚原畳」に関しては、2011 年 9 月 22 日に火災が発生した廃畳類のみが堆積された場所より試料の採取を行った。汚泥の中には微生物が含まれている可能性があり、付着したものの発酵を促進させる可能性があったため、「閑上汚泥」に関しても検討を行った。

また、含有水分が堆積時にどの程度影響を与えるのかを検討するため、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。さらに、発酵による発熱や温度上昇等の影響を確かめるため、エチレンオキサイドガス (EOG) を用いて、滅菌装置内において、17 時間滅菌処理を施したのもも用いた。エチレンオキサイドガス (EOG) は、大半の微生物を死滅させることができ、医療用器具や精密機械を隅々まで滅菌するために幅広く用いられている[38]-[41]。



図 3-20 閑上腐食畳



図 3-21 閑上木材チップ



図 3-22 小塚原腐食量



図 3-23 小塚原量



図 3-24 関上汚泥

3-4-2 熱分解開始温度と含有水分量の検討 (TG-DTA)

昇温速度を 2 K/min とした場合の結果を図 3-25 ~ 3-29 に示す。グラフの横軸は、試料の温度を示し、縦軸は TG (重量減量率) と DTA (熱流束) を示す。TG 曲線は下方が減量、上方が増量を示す。DTA 曲線のピークは、下向きが吸熱反応を示し、上向きが発熱反応を示す。また、100 °C での重量減少と熱分解開始温度をまとめたものを表 3-3 に示す。熱分解開始温度は、DTA 曲線が安定したベースラインより、0.1 μ V (約 0.01 K) 発熱方向へシフトした温度を読み取った。

閑上腐食畳・閑上木材チップ・小塚原腐食畳・小塚原畳の熱分解は、おおむね 3 段階に分かれておこっている。室温から 100 °C の温度領域において、TG 曲線・DTA 曲線からは、含有水分等の蒸発に伴う重量減少と吸熱が観測された。この段階で最も重量減少率が大きかったものが閑上腐食畳であった。いずれの試料も、180 °C ~ 380 °C の温度領域では、有機物の熱分解によるものと思われる重量減少がみられた[42]-[46]。

それ以降の温度領域においては、炭化物の燃焼による重量減少と発熱が観測された[47]-[50]。熱分解開始温度は、閑上汚泥が最も高く、198 °C であったが、他の試料に関しては概ね、160 °C ~ 170 °C 前後の間となった。この近辺の温度に達した場合、条件が揃えば（断熱状態・熱容量・空気流入量）熱分解を開始して火災に至る可能性があると考えられる。

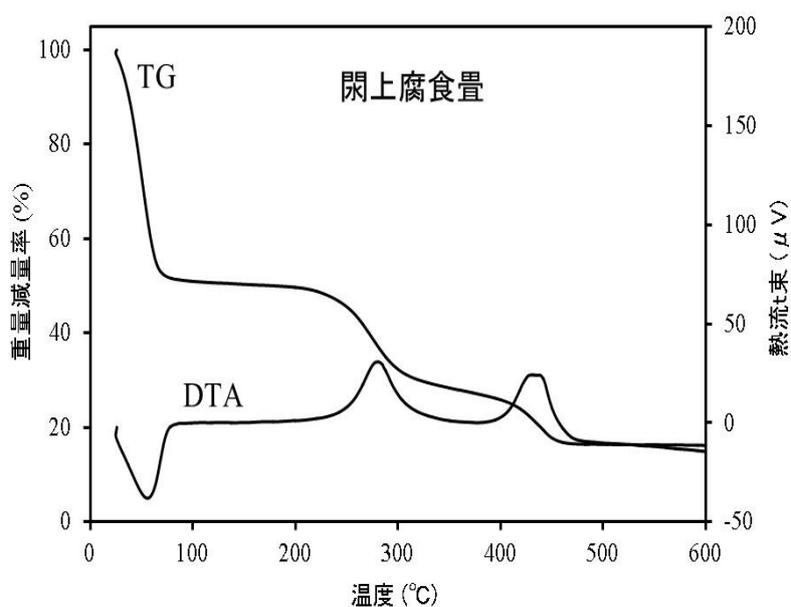


図 3-25 閑上腐食畳 TG-DTA 結果 (2 K/min)

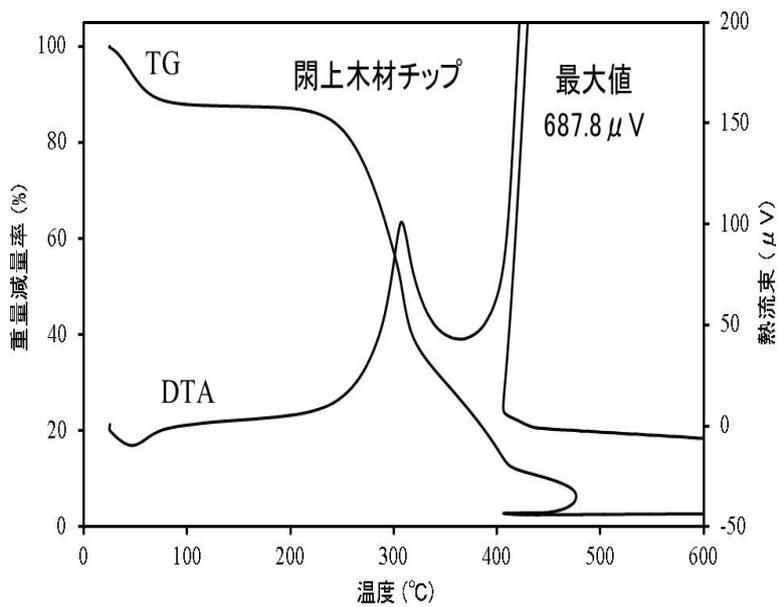


図 3-26 閑上木材チップ TG-DTA 結果 (2 K/min)

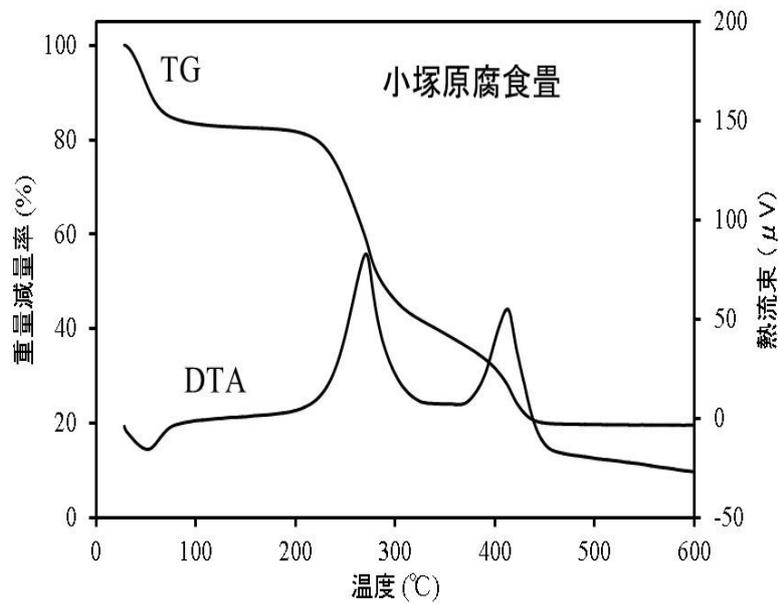


図 3-27 小塚原腐食畳 TG-DTA 結果 (2 K/min)

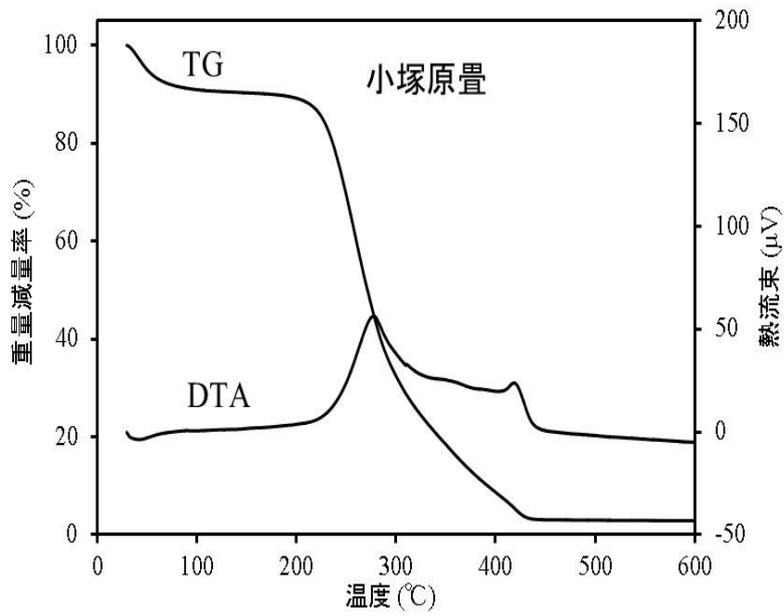


图 3-28 小塚原壘 TG-DTA 結果 (2 K/min)

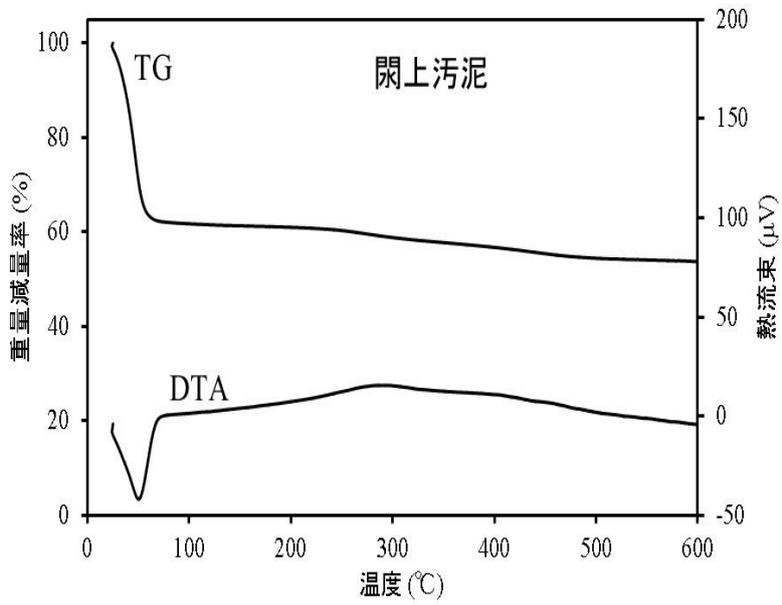


图 3-29 閑上汚泥 TG-DTA 結果 (2 K/min)

表 3-3 TG-DTA 結果

試料名	100 °Cでの減量率 (%)	熱分解開始温度 (°C)
閑上腐食畳	49.0	160.7
閑上木材チップ	12.1	163.5
小塚原腐食畳	16.6	166.8
小塚原畳	9.1	171.3
閑上汚泥	38.2	198.3

3-4-3 室温付近からの熱挙動の検討 (C80)

昇温速度を 0.1 K/min とした場合の結果を図 3-30 ~ 図 3-34 に示す。また、発熱開始温度をまとめたものを表 3-4 に示す。今回の発熱開始温度は、ベースラインより 0.005 mW 発熱方向へシフトし始める最初の温度を読み取った。

閑上腐食畳・小塚原腐食畳・閑上木材チップの場合、測定開始直後 (25 °C前後) から、発酵と考えられる発熱の開始が見られた。EOG 処理を行った試料の測定結果と比較しても発酵が影響を与えている可能性は高い。いずれの試料も、80 °C以降 ~ 100 °C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[51]-[52]。

脂肪酸エステル等の油脂類は、室温 (25 °C) 付近であってもゆっくりと自動酸化され、この過程で熱や光により分解される場合には、化学発光 (Chemiluminescence) を生じる[53]。約 50 °C前後において、脂肪酸エステル等の油脂類による化学発光や発熱を検出したという報告もある[54]-[55]。このため、今回の C80 の 50 °C前後で生じる発熱の結果はそれらを支持できる。

それ以降の温度領域では、TG-DTA 測定で観測された熱分解開始温度付近から、含まれる有機物等の熱分解によるものと思われる発熱が観測された[42]-[50]。

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、微生物が死滅しても含まれる脂肪酸エステル等の酸化が始まり、さらに温度が上昇して火災に至ることが考えられる。

安全対策の1つとして、内部温度のモニタリングが挙げられる[56]-[58]。C80の結果をもとに次のような安全対策をとることが望ましいと考えられる。

堆積物内部の温度が、室温(25℃)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3-35)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、酸素供給量に配慮しながら、慎重に堆積物の切り崩しを行うことが望ましい。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。

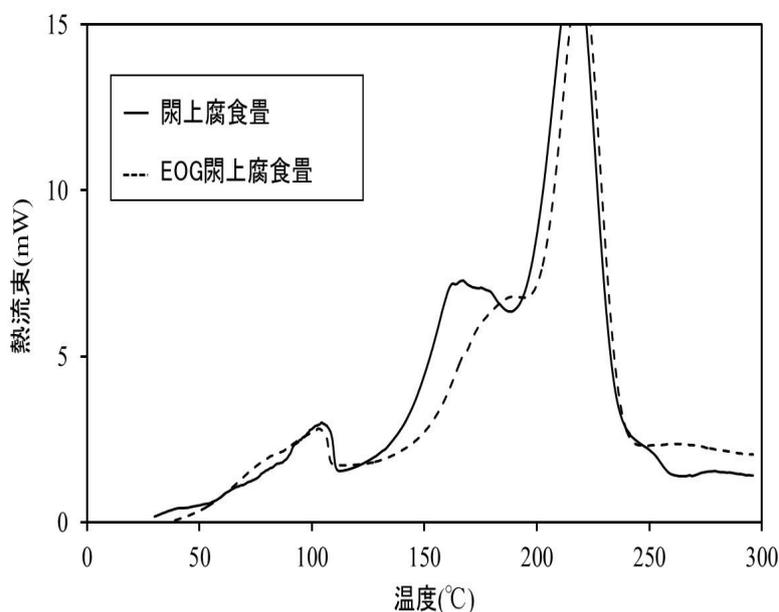


図 3-30 閑上腐食量 C80 結果 (0.1 K/min)

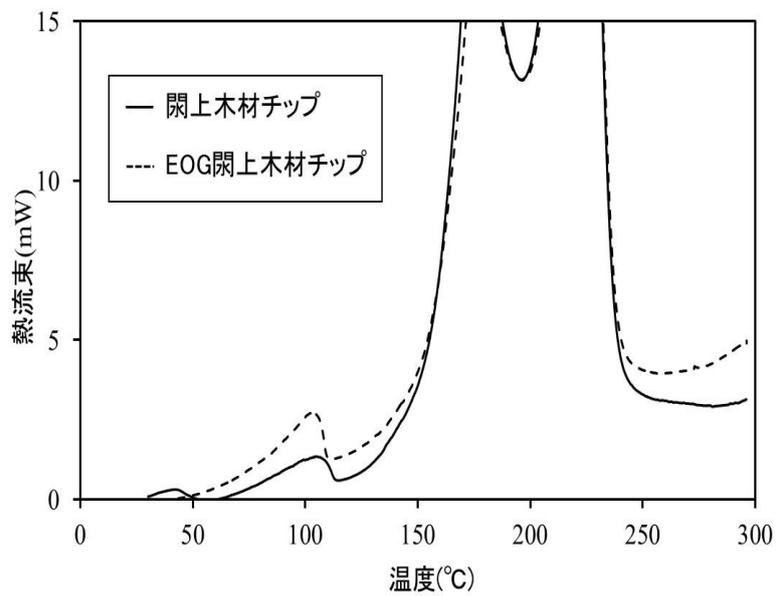


図 3-31 閑上木材チップ C80 結果 (0.1 K/min)

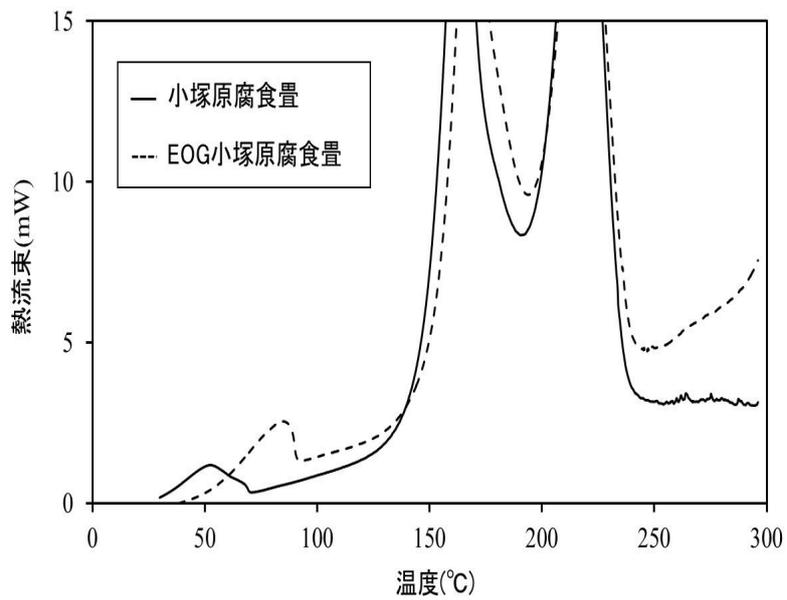


図 3-32 小塚原腐食畳 C80 結果 (0.1 K/min)

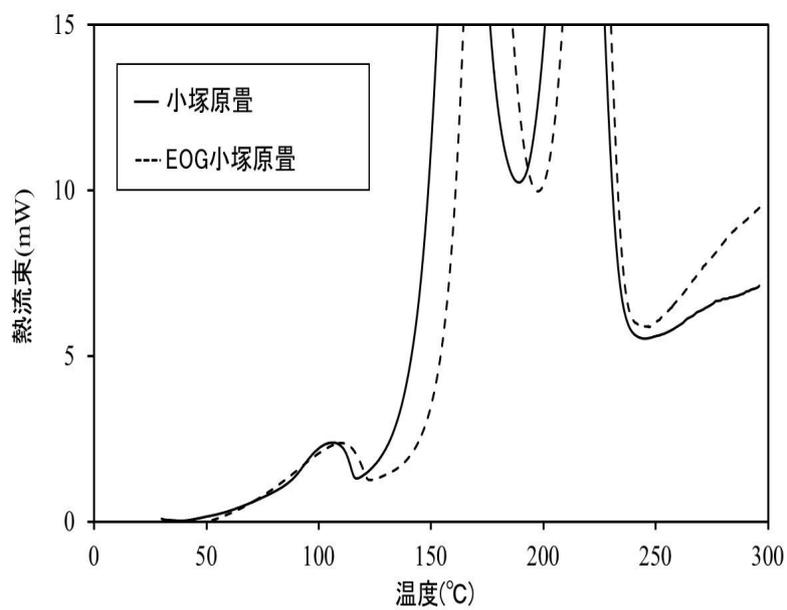


图 3-33 小塚原畳 C80 結果 (0.1 K/min)

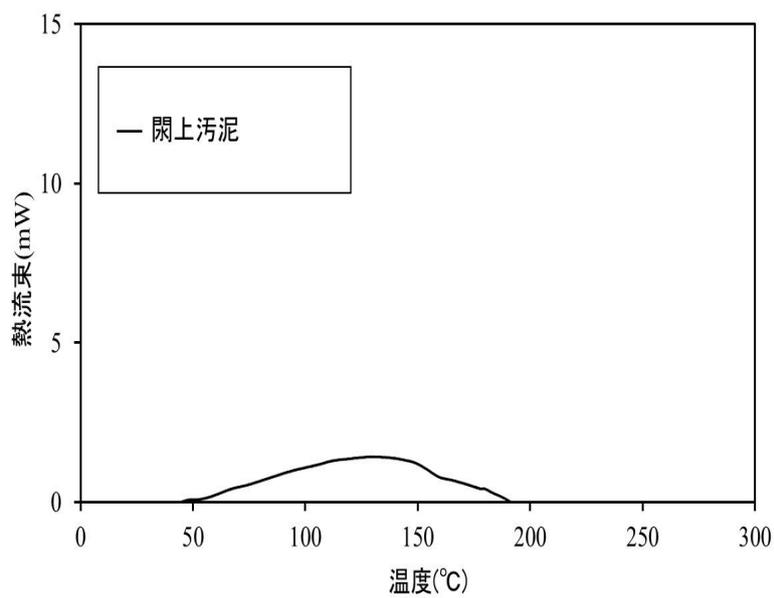


图 3-34 関上汚泥 C80 結果 (0.1 K/min)

表 3-4 C80 結果

試料名	発熱開始温度 (°C)
閑上腐食量	29.0
EOG 閑上腐食量	43.2
閑上木材チップ	29.4
EOG 閑上木材チップ	52.3
小塚原腐食量	25.5
EOG 小塚原腐食量	45.2
小塚原量	84.2
EOG 小塚原量	85.4
閑上汚泥	86.3



図 3-35 C80 の結果より立案した安全対策 (2012 年 3 月撮影)

3-4-4 発酵による熱挙動の検討 (TAM)

TAM を 50 °C に設定して測定を行った結果の一覧を、図 3-36 ~ 3-40 に示す。また、発熱量をまとめたものを表 3-5 に示す。発熱量は、測定開始 24 時間後、24 時間後から 72 時間後、および両者の合計をまとめたものを示す。TAM の保持温度を 50 °C と設定した理由は、多くの微生物の活動が、約 40 °C ~ 50 °C 近辺で活発に起こり、それ以降の温度領域では、徐々に不活性となっていくためであり、かつ、過去の測定データと比較が可能な 50 °C を TAM の設定温度とした[59]-[60]。

小塚原腐食量の熱挙動を見てみると、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。また、別途密閉したガラス容器内にて、試料を保持して、酸素量の経時変化を確認したところ、概ね 24 時間程度で酸素濃度が 10 % 以下となることがわかっている。

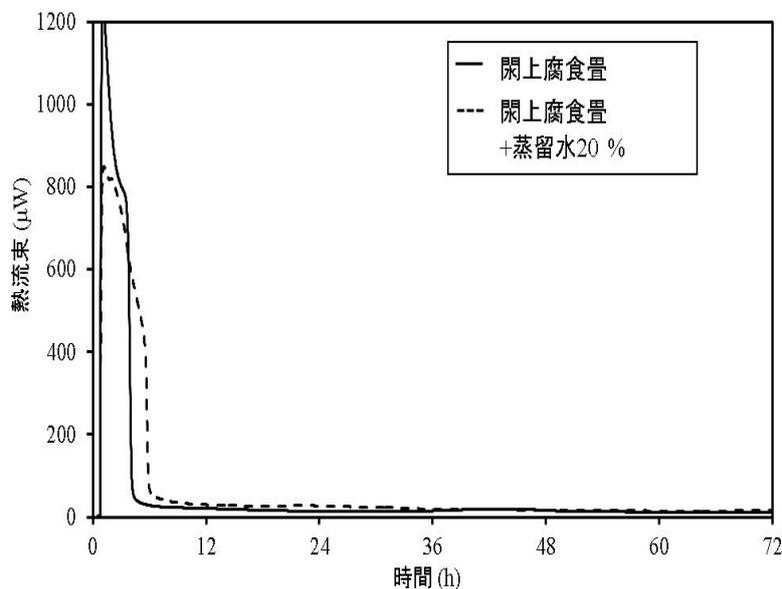


図 3-36 閑上腐食量 TAM 結果 (50 °C)

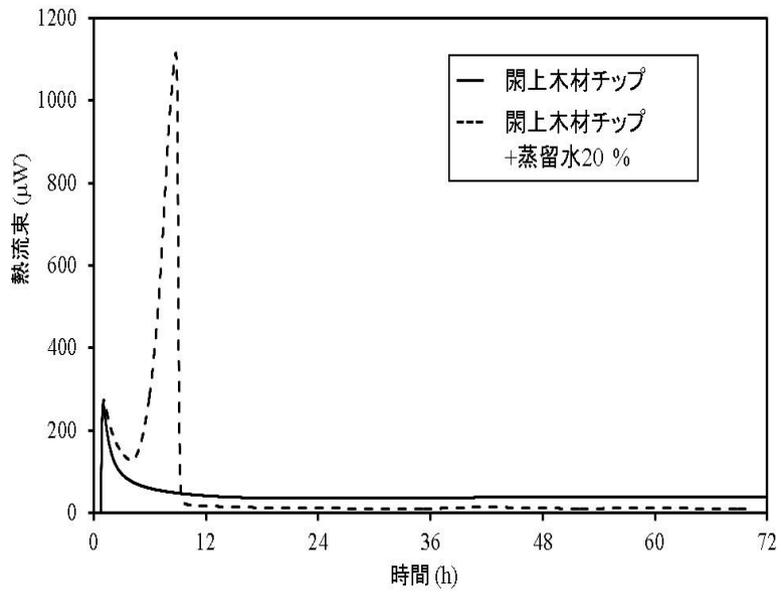


図 3-37 閑上木材チップ TAM 結果 (50 °C)

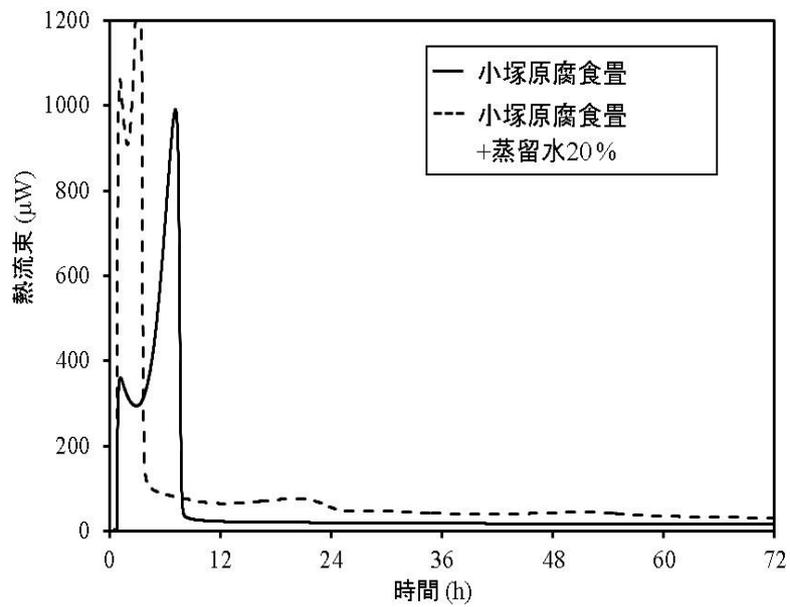


図 3-38 小塚原腐食量 TAM 結果 (50 °C)

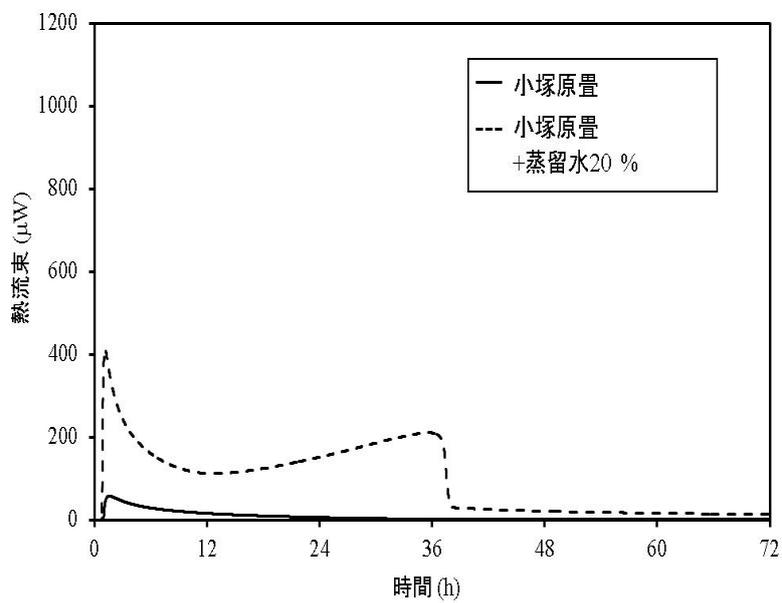


図 3-39 小塚原畳 TAM 結果 (50 °C)

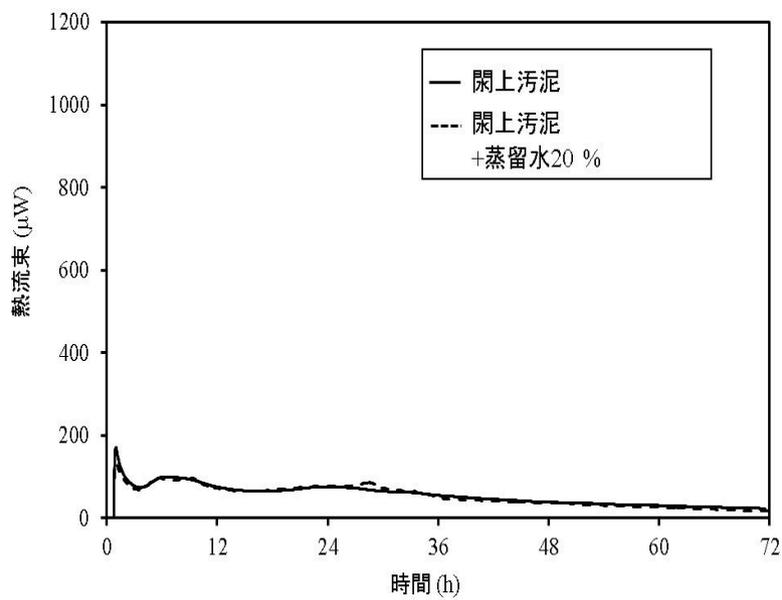


図 3-40 閑上汚泥 TAM 結果 (50 °C)

表 3-5 TAM 結果

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
閑上腐食畳	11.59	2.24	13.83
閑上腐食畳 + 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
小塚原腐食畳	13.76	3.06	16.82
小塚原腐食畳 + 蒸留水 20 %	16.31	6.54	22.85
小塚原畳	2.13	1.21	3.34
小塚原畳 + 蒸留水 20 %	13.18	11.17	24.35
閑上汚泥	6.9	4.98	11.88
閑上汚泥 + 蒸留水 20 %	6.71	5.21	11.92

水分を添加してから測定を行った結果を見てみると、いずれの試料もそのまま測定を行った結果に比べて、発熱量の増加がみられた。

小塚原畳に関しては、発熱量が約 12 倍になった。他の試料は、急激に発熱し測定開始から約 10 時間程度で発熱が終息していく傾向がみられたが、小塚原畳に関しては、長時間発熱が持続する傾向がみられた。

汚泥に関しても、急激な発熱は見られなかったが、長時間発熱を持続する傾向がみられた。TG-DTA の結果より汚泥は水分を多く含んでいるという結果となった。TAM の結果と合わせて考えてみると、汚泥そのものは激しく燃えるような物品ではないが、大量の水分と微生物を含んでいる可能性があり、他の物品を腐食させ発酵の補助的な役割を行う可能性がある。

また、C80 と TAM の水分添加を行った測定結果から考えると、堆積物の冷却や消火のため、放水を行った場合、放水の水によって発酵が促進され、蓄熱後に火災に至る可能性が考えられる。

そのため、放水を行った近辺に関しては、十分な注意を払い、畳類や木材チップ等の「発酵する可能性のある災害廃棄物」があった場合は、優先的に分別し処理することが望ましい。

3-4-5 発酵によって生じるガスの検討 (GC)

GC 分析による結果を表 3-7 (未処理) と表 3-8 (EOG 処理) に示す。未処理の試料の結果を見てみると、閑上腐食畳・閑上木材チップ・小塚原腐食畳に関しては、大量の二酸化炭素の発生が観測された。また、水分添加を行った全ての未処理の試料の測定結果からは、水素の発生が観測された。汚泥以外の試料に関しては、水分を添加することにより、二酸化炭素の発生量が増加した。

EOG 処理を行ってから保持した試料に関しては、大幅な二酸化炭素の減少と、水素やメタンの発生が観測されなくなった。水素やメタン発生理由として、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[61]-[64]。熱分析の結果と合わせて考えてみると、腐食畳や木材チップは、発酵のための適度な含有水分量を有していることが考えられる。

小塚原畳に関しては、水分含有量が 10 % 以下であり、潜在的に微生物を有している可能性があっても、微生物が活動するための適度な水分が十分でなく、通常の状態では発酵はあまり起こりにくいことが考えられる。

しかし、何らかの要因で含有水分量が増加した場合には、腐食していない畳であっても、発酵が進み温度上昇して、火災に至る可能性があることが考えられる。

生ごみ処理機内で処理中の廃棄物類がくん焼した後、可燃性のガスが発生し爆発したという事例や、倉庫内で貯蔵されていた廃棄物が発酵し、周囲の酸素を消費するとともに大量の二酸化炭素を発生させ、倉庫内が酸素欠乏状態となり、現場作業員が酸欠症状を起し搬送後死亡したという事例が存在する[65]-[67]。

表 3-7 GC 結果 (未処理)

試料名	GC測定結果 (%)					
	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
閑上腐食畳	1.49	73.26	1.12	-	-	18.45
閑上腐食畳 + 蒸留水20 %	1.55	69.62	0.029	-	-	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	0.084	-	-	14.41
小塚原腐食畳	1.75	77.43	0.082	-	0.063	17.32
小塚原腐食畳 + 蒸留水20 %	0.98	72.81	0.10	-	0.079	20.19
小塚原畳	19.23	77.98	-	-	-	0.12
小塚原畳 + 蒸留水20 %	13.59	77.55	0.021	-	-	5.52
閑上汚泥	16.98	80.53	-	-	-	1.12
閑上汚泥 + 蒸留水20 %	16.38	81.17	-	-	-	1.06

表 3-8 GC 結果 (EOG 処理)

試料名	GC測定結果 (%)					
	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
EOG閑上腐食量	19.85	77.65	-	-	-	0.05
EOG閑上腐食量 + 蒸留水20 %	19.47	76.97	-	-	-	0.51
EOG閑上木材チップ	20.30	77.63	-	-	-	0.05
EOG閑上木材チップ + 蒸留水20 %	20.29	76.68	-	-	-	0.36
EOG小塚原腐食量	19.02	77.86	-	-	-	0.08
EOG小塚原腐食量 + 蒸留水20 %	18.39	77.75	-	-	-	0.86
EOG小塚原量	19.85	77.02	-	-	-	0.05
EOG小塚原量 + 蒸留水20 %	19.65	76.54	-	-	-	0.12
EOG閑上汚泥	19.88	77.65	-	-	-	0.05
EOG閑上汚泥 + 蒸留水20 %	19.83	77.88	-	-	-	0.08

災害廃棄物の置き場では、可燃性ガスや二酸化炭素が発生したとしても、大気中へ飛散して濃度が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ないが、今後、密閉性の高いコンテナ等で災害廃棄物の輸送・貯蔵を行う際においては、火災や爆発や酸欠といったことへの注意が必要となってくることが考えられる。

また、C80 の項目で述べた温度のモニタリングを行う以外に、パイプを打ち込み（図 3-41）、ガス抜きや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・一酸化炭素・メタン等）のモニタリングを行うことが望ましい。



図 3-41 TAM と GC の結果より立案した安全対策（2012 年 8 月撮影）

3-4-6 火災発生へのメカニズム

今回用いた熱危険性評価手法に基づいて、発酵する可能性のある災害廃棄物は、図 3-42 のようなステップで火災に至る可能性があることが考えられる。

最初の段階として、C80 の結果で得られたように、室温から約 50 °C 前後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 [68]-[70]。

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 °C ~ 80 °C 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、発酵は不活性となっていく、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 [51]-[55]。100 °C 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、さらに温度が上昇し、火災に至ることが考えられる [42]-[47]。

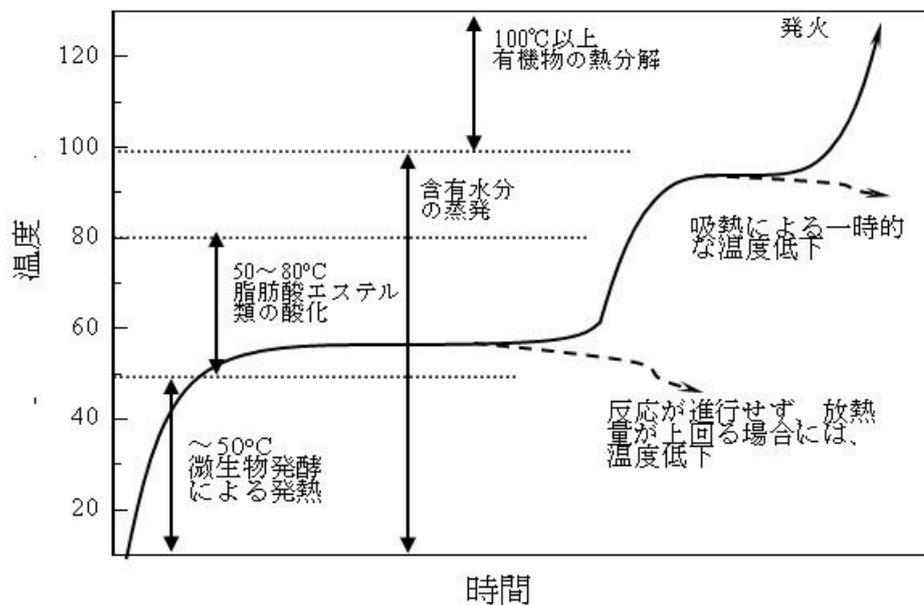


図 3-42 温度上昇から火災発生へのメカニズム

3-5 環境問題を考慮した災害廃棄物仮置き場の設置計画

前述してきた結果を踏まえて、平常時の段階で災害廃棄物の仮置き場、収集・運搬ルートを検討ならびに候補の設定を行うことは重要であると考えられる。大規模災害時には、平常どおりの廃棄物処理が困難になるとともに、表 3-1 に示すように、大量の災害廃棄物が発生する可能性が高い。そのため、可能であれば広域圏ごとに、被災時において災害廃棄物のストックヤードに、転用可能な場所の整備を行っておくことも重要である。

また、日本の古い建築物の場合、アスベストが用いられている場合が多いとの報告があるが[71]-[72]、アスベストについては、解体、保管、輸送、処分の過程において環境問題・健康被害等が生じる可能性があるため[73]-[74]、解体、処理行為時における飛散防止対策についてあらかじめ定めておく必要がある。

収集された災害廃棄物は、仮置き場へと搬入されるが、手選別等 (図 3-43) のリサイクル作業を行うことが望ましいため、1次仮置き場・2次仮置き場も視野に入れて設置することが望ましい。

1次仮置き場については、未利用空地等をできる限り分散的な配置で確保できるようにし、2次仮置き場については、1次仮置き場よりもより広い用地が求められることが想定される。ま

た、平常時から仮置き場に使用可能な空地の情報を電子化し一元的に管理し、共有化しておくことも望ましい。



図 3-43 名取市閑上海岸 1 次仮置場での手選別作業風景

仮置き場における災害廃棄物の処理においては、解体、分別、破碎・焼却等の各ステージで生じる環境影響を最小とし、公衆衛生を確保する努力が必要となってくる。特に、危険物等が混在する災害廃棄物の仮置き場や集積所では、周辺の環境への影響、作業員や近隣住民への健康被害等の予防措置が重要となってくる。

表 3-9 に大気、騒音・振動、土壌、臭気、水質の災害廃棄物処理において考慮すべき環境影響と環境保全策の概要を示す[75]-[77]。表 3-9 に示すように仮置き場での処理過程においては、様々な環境や人体への悪影響が生じる可能性がある。

事前対策の観点より、処理スピードには配慮しつつ、環境や人体への影響を最小限に抑え、危険性を回避することも考慮していく必要性が有る。このような危険性を回避するにあたっては、平常時から注意が必要な物質や製品が、災害時においてはどのような形で生活へと関わってくるのかを把握し、その上で、分別・処理を行っていくことが望ましい。

表 3-9 環境への影響と対策

影響項目	環境への影響	対策
大気	作業時における粉塵の飛散 アスベスト含有廃棄物の飛散 有害・可燃性ガスの発生	飛散防止ネットの設置 アスベスト分別の徹底 大気のモニタリング
騒音・振動	作業に伴う騒音	低騒音・低振動の重機を使用 防音シートの設置
土壌	堆積物から周辺土壌への 有害廃棄物の漏出	遮水シートを設置 PCB等の有害廃棄物の分別管理
臭気	堆積物からの悪臭の発生	脱臭剤、防虫剤の散布
水質	堆積物に含まれる汚染物質が 降雨等により水域へ流出	遮水シートを設置 排水の管理

また、処理に時間がかかる場合には、自然発火による火災が懸念される。特に、今回熱危険性評価手法に用いた発酵する可能性のある災害廃棄物にあつては、自然発火の引き金となる可能性が高く、悪臭や害虫の温床となり易いことが考えられる。そのため、上述してきたことも視野に入れ、処理の優先順位や用地を選定する必要がある。

3-6 熱危険性評価手法により得られた結果のまとめ

今回用いた、発酵する可能性のある災害廃棄物は、自然発火の引き金となる可能性が高く、仮置き場においては、安全管理を十分行わなければならないという結果となった。以下にまとめを示す。

- 1) TG-DTA の測定結果より、今回用いた発酵する可能性のある災害廃棄物が蓄熱後、熱分解を開始する温度は、160 °C ~ 170 °Cの間であり、この近辺まで温度上昇すると火災を引き起こす可能性がある。
- 2) C80 の測定結果より、腐食量と木材チップからは、測定開始直後（25 °C前後）から発酵によるものと考えられる発熱が観測された。この発熱が蓄熱の引き金となる可能性があると考えられる。発酵する可能性のある災害廃棄物が火災に至るプロセスとして、まず、微生物の活動によって発熱が起こる。そして、断熱状態がよい場合には、含まれる脂肪酸エステル等の酸化に移行し、さらに温度が上昇して、含まれるセルロース等が熱分解を開始して火災に至ることが考えられる。
- 3) TAM の測定結果より、水分添加を行うことで、今回用いた災害廃棄物に関しては、発熱量の増加がみられた。これにより、適度な水分を含んだものほど発酵発熱しやすいということが考えられるため、雨が繰り返し降り、気候も温暖になってくる時期には、特に、火災発生に対して警戒が必要である。また、冷却や消火のため、放水を行った近辺に発酵しやすいものがあった場合、放水の水で発酵し、蓄熱後に火災に至る可能性が考えられるため、十分注意を払うことが必要である。
- 4) GC の測定結果より、腐食量や木材チップからは大量の二酸化炭素の発生が観測された。また、水分添加を行うことで、今回用いた災害廃棄物に関しては、水素の発生が観測された。このことから、発熱量の高い好気性の発酵以外に可燃性ガスの発生を伴う嫌気性の発酵も起こっていることが考えられる。今後、密閉性の高いコンテナ等で災害廃棄物類の輸送・貯蔵を行う際においては、火災や爆発、酸欠といったことへの注意が必要となってくることが考えられる。

- 5) 発酵に起因する自然発火を防ぐ観点から、温度上昇が生じる前に、定期的に堆積物の切り崩しを行い、可能であれば、積み上げたままの状態でも長期間放置しないことが望ましい。また、堆積物にパイプを打ち込み、放熱を行うとともに、パイプの穴から熱電対を挿入して、内部温度のモニタリングや発生ガス（二酸化炭素・一酸化炭素・メタン等）のモニタリングを行う。発酵する可能性のある災害廃棄物の分別を行い、優先的に処理することが望ましい。また、堆積物の法面を砂や鉄板で覆い、空気の流入を防ぐことも発酵を防ぐ観点から望ましいと考えられる。

以上のように、災害廃棄物の中で特に腐食した畳が自然発火の引き金となりやすいことを実験的に明らかにしたのは、本研究が初めてである。

3-7 今後の課題

東日本大震災に伴って生じた、福島第一原子力発電所の事故によって、大規模な除染作業が必要となってきている。その除染作業に伴って、放射性物質に汚染された災害廃棄物が大量に排出されてきている。

放射性物質に汚染された災害廃棄物は、特殊な措置が施された専用の袋に梱包され、特別管理区域内において、堆積・貯蔵されている。それらの袋の中に、今回の熱危険性評価手法に用いた発酵する可能性のある災害廃棄物が混入していた場合、発酵熱によって自然発火に至る可能性が高い。

放射性物質に汚染された災害廃棄物が自然発火し、大規模な火災となった場合、放射性物質の飛散防止や消火等、現場では早急な意思決定を求められることが想定される。放射性物質に汚染された災害廃棄物の仮置き場における自然発火の防止を行っていく上で、第3章全体を通して得られた知見や結果は、有効であると思われる。

放射性物質に汚染された災害廃棄物は、放射性物質に汚染されていない災害廃棄物と比較して、全ての処理が完了するまで長い時間を要することが想定される。今後、特別管理区域内における、各種基準等をさらに詳細に策定し、危機管理・リスク管理を行っていかなければならない。

参考文献

- [1] 気象庁, 2011年03月11日14時46分 三陸沖 M 9.0,
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/cmt/fig/cmt20110311144618.html> 2013年5月
- [2] 英保次郎, “廃棄物処理法 Q&A”, 東京法令出版 (2011)
- [3] 英保次郎, “廃棄物処理早わかり帖”, 東京法令出版 (2011)
- [4] 環境省, 震災廃棄物対応指針,
<http://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/earthquake/> 2013年5月
- [5] 環境省, 水害廃棄物対応指針,
<http://www.env.go.jp/recycle/waste/disaster/flood/index.html> 2013年5月
- [6] 大野博之, 八村智明, “災害廃棄物概論(定義・分類と問題点)(特集 災害廃棄物の発生と処理事例)”, 生活と環境 51(9), pp.7-13 (2006)
- [7] 丸山雅司, “新潟県中越沖地震における災害廃棄物の処理について(特集 大地震等と災害時における廃棄物処理の現状と課題)”, 生活と環境 53(3), pp.20-23 (2008)
- [8] 環境省, “沿岸市町村の災害廃棄物処理の進捗状況”, (2011)
- [9] 久世益充, 杉戸真太, 能島暢呂, “南海トラフの巨大地震を想定した広域震度予測”, 自然災害科学 22(1), pp.87-99 (2003)
- [10] 富岡展行, 高橋智幸, 今井健太郎, “南海トラフ沿いの海洋プレート内部で発生する地震津波に関する被害想定”, 北地域災害科学研究 41, pp.43-48 (2005)
- [11] 溝上恵, “首都直下地震の被害想定と防災対策”, 地震ジャーナル 40, pp. 29-36 (2005)
- [12] 池内幸司, 伊藤夏生, “首都直下地震の被害想定と対策”, 地学雑誌 116(3), pp.490-503 (2007)
- [13] 保家力, “首都直下地震等による被害想定と都の防災対策”, 土木施工 53(9), pp.94-97 (2012)
- [14] 内閣府, 南海トラフ巨大地震対策,
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html> 2013年5月
- [15] 内閣府, 首都直下地震対策 <http://www.bousai.go.jp/jishin/index.html> 2013年5月
- [16] 望月利男, “地獄絵図・東京直下地震 木造家屋密集地の解消を急げ”, エコノミスト 76(23), pp.52-55 (1998)
- [17] 石井将仁, 河森公男, 久田嘉章, “直下型地震による東京都港区・木造家屋の地震被害想定”, 社団法人日本建築学会 学術講演梗概集.B-2 pp.95-96 (2000)

- [18] 武田龍太郎, 吉田友彦, “東京都区部における木造住宅密集地域の基盤整備状況に関する研究”, 社団法人 日本建築学会 日本建築学会関東支部研究報告集 II (72), pp.333-336 (2002)
- [19] 八村智明, 宮原哲也, 大野博之, “災害廃棄物による地下水・土壌汚染の可能性”, 一般社団法人日本応用地質学会応用地質 47(6), pp.360-368 (2007)
- [20] 堀野誠夫, 吉田康之, 大桑宗一郎, “岐阜市北部地区産業廃棄物不法投棄事案 特定支障除去等対策工事消火活動報告”, 全国都市清掃会議 都市清掃 63(295), pp.268-273 (2010)
- [21] 大村拓也, “岐阜市北部地区産業廃棄物不法投棄事案 特定支障除去等対策工事消火活動報告”, 日経 BP 社 日経コンストラクション (509) pp.6-11 (2010)
- [22] 読売新聞, 2011年8月24日 朝刊
- [23] 河北新報, 2011年9月30日 朝刊
- [24] 岩手日報, 2011年10月15日 朝刊
- [25] 鈴木恵子, “東日本大震災に関連して発生した火災に関する調査の概要”, 平成25年度日本火災学会研究発表会概要集 pp.214-215 (2013)
- [26] C.P. Beistle, “Spontaneous Heating and ignition in transportation by railroad”, NFPA and US Dept. of Agriculture, pp. 40-45 (1929)
- [27] P.H. Thomas and P.C. Bowes, “Power, Some aspects of the self-heating and ignition of solid cellulosic Materials”, Journal of Applied Physics, 12 (5), pp. 222-229 (1961)
- [28] H. P. Rothbaum, “Spontaneous combustion of hay”, Journal of Applied Chemistry, 13, pp.291-302 (1963)
- [29] P.C. Bowes, “Application of the theory of thermal explosion to the self-heating and ignition of organic materials”, Fire Research Note 867 (1971)
- [30] 平野敏右著, “燃焼学”, pp.96-102 (2005)
- [31] 清水芳忠, 若倉正英, 新井充, “堆積廃棄物の蓄熱発火危険性評価に関する研究”, 廃棄物学会研究発表会講演論文集 18回 pp.262-264 (2007)
- [32] 古積博, “大量貯蔵廃棄物内での蓄熱による火災危険性”, 環境技術 34(10) pp.722-727 (2005)
- [33] 古積博, 岩田雄策, 桃田道彦, “動物性飼料の自然発火に関する研究報告書消防研究技術資料第58号”, 独立行政法人消防研究所 (2003)
- [34] 古積博, 岩田雄策, 桃田道彦, “再生資源燃料等の危険性評価に関する研究報告書消防研究技術資料第79号”, 消防庁消防大学校 消防研究センター (2007)

- [35] D.A Frank–Kamenetskii's, "Diffusion and Heat Transfer in Chemical kinetics", pp.374 (1969)
- [36] V. Babrauskas, "Ignition Handbook", Fire Science Publishers (2003)
- [37] D.Drysdale, "FIRE DYNAMICS Third Edition", WILEY pp.317-324 (2011)
- [38] 植村誠次, 山家義人, "エチレンオキサイドおよびプロピレンオキサイドによる気相滅菌試験", 日本林學會誌 43(3) pp.11 (1961)
- [39] E H Gillespie, J M Jackson, and G R Owen, "Ethylene oxide sterilisation--is it safe?", Journal of Clinical Pathology, 32 pp.1184-1187 (1979)
- [40] 沖川正善, 西谷篤彦, "医療器具のエチレンオキサイドガス滅菌に関する研究", 病院薬学 10(2), pp.143, (1984)
- [41] 猪原昭彦, 三浦義正, "エチレンオキサイドガス (EOG) 滅菌の実際と問題点", 産業医科大学雑誌 9(1), pp.113 (1987)
- [42] 南享二, 河村喜美恵, 大島永義, "木材炭化に関する研究 (第 18 報) : 木材セルロースの熱分解", 本林學會誌 40(2) pp.68-79 (1958)
- [43] 稲垣訓宏, "セルロースフェニルホスフェートの熱分解", 工業化学雑誌 74(7), pp.1411-1415 (1971)
- [44] J. Rychlý, L. Matisová-Rychlá, M. Lazár, K. Slovák, M. Strlič, D. Kočar, J. Kolar , "Thermal oxidation of cellulose investigated by chemiluminescence. The effect of water at temperatures above 100 °C Carbohydrate Polymers", Vol.58, Issue 3 pp. 301-309 (2004)
- [45] S. Gaan, P. Rupper, V. Salimova, M. Heuberger, S. Rabe, F. Vogel, " Thermal decomposition and burning behavior of cellulose treated with ethyl ester phosphoramidates: Effect of alkyl substituent on nitrogen atom", Polymer Degradation and Stability, Vol.94, Issue 7 pp.1125-1134 (2009)
- [46] S. Iwamoto, W. Kai, T. Isogai, T. Saito, A. Isogai, T. Iwata, "Comparison study of TEMPO-analogous compounds on oxidation efficiency of wood cellulose for preparation of cellulose nanofibrils", Polymer Degradation and Stability, Vol.95 Issue 8 pp. 1394-1398 (2010)
- [47] 須賀操平, "セルロース ビニル重合体および石炭類の熱天秤による熱分解", 燃料協会誌 44(456), pp.228-237 (1965)
- [48] B.F Gray, J.F Griffiths, S.M Hasko, "Spontaneous ignition hazards in stockpiles of cellulosic materials: Criteria for safe storage", Journal of Chemical Technology and Biotechnology. Chemical Technology Vol.34 Issue8, pp.453-463 (1984)

- [49] W, Hogland, M, Marques, “Physical, biological and chemical processes during storage and spontaneous combustion of waste fuel”, *Conservation and Recycling*, Vol.40, Issue 1 pp.53-69. (2003)
- [50] アパルパタル, 王青躍, 陳啓宇, 新井田大貴, “木質系バイオマス炭化物の燃焼特性及び燃焼ガスの排出挙動”, *石炭科学会議発表論文集 (49)* pp.102-103 (2012)
- [51] X.R, Li., H, Koseki. and M, Momota, “Evaluation of danger from fermentation-induced spontaneous ignition of wood chips”, *Journal of Hazardous Materials*, 135(1-3): pp.15-20. (2006)
- [52] 幡手英雄, 吉田勇人, 田中竜介, “不飽和脂肪酸エステルの自動酸化および各種酸化生成物のトリプシン活性に及ぼす影響”, *水産大学校研究報告* 43(1), pp.7-12 (1994)
- [53] 山北尋巳, “化学発光法による高分子の劣化評価”, *化学工業* 42(11), pp.864-869 (1991)
- [54] 森尻宏, “等温マイクロカロリーメータを用いた自然発火物質の測定手法について”, 第 52 回全国消防技術者会議資料 pp.37-42 (2004)
- [55] 駒宮功額, “大量堆積有機物の自然発火”, *セイフティダイジェスト* 50(12) pp.30-38 (2004)
- [56] O. Bergman, “Thermal degradation and spontaneous ignition in outdoor chip storage”, *Svensk Papperstidning*, 77 (18) pp.681-684 (1974)
- [57] H. Kubler, “Heat generating processes as cause of spontaneous ignition in Forest Products”, *Forest Products Abstracts* 10 pp.299-327 (1987)
- [58] Y Shimizu, M Wakakura, M Arai, “Heat accumulations and fire accidents of waste piles”, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Vol.22, Issue 1 pp. 86-90 (2009)
- [59] B.F. Gray and G.C. Wake, “The ignition of hygroscopic combustible materials by water”, *Combustion and Flame*, 79 (1) pp.2-6 (1990)
- [60] N, Murasawa, H, Koseki, Y, Iwata, Y, Shibata, “Determination of Spontaneous Ignition of SSSR and Fish meal during Transport and Storage”, *Journal of Food Research* Vol.1pp.320-329 (2012)
- [61] 園田頼和, “メタン発酵による有機系廃棄物の処理と燃料ガス生産”, *発酵と工業* 34(4), pp.248-257 (1976)

- [62] R K Thauer, K Jungermann, and K Decker, "Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria", *Bacteriological Reviews* 41 (1) pp.100-180 (1977)
- [63] 小野英男, "産業廃棄物のメタン発酵", *工業技術* 20(11) pp.54-57 (1979)
- [64] Q. Wang, J.-Y. Narita, W. Xie, Y. Ohsumi, K. Kusano, Y. Shirai and H. Ogawa, "Effects of anaerobic/aerobic incubation and storage temperature on preservation and deodorization of kitchen garbage", *Bioresource Technology* 84 (3) pp. 213-220 (2002)
- [65] 大和市消防本部, "ショッピングセンター生ごみ処理室爆発事故の概要", 東京法令出版 月刊消防 28(2) pp.11-16 (2006)
- [66] X.R. Li, H. Koseki, Y. Iwata, "Risk assessment on processing facility of raw organic garbage", *Journal of Hazardous Materials*, Vol.154, Issues 1-3 (15) pp.38-43 (2008)
- [67] N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, "Lessons learned from accidents of soy sauce squeezing residue -risks of spontaneous ignition and oxygen deficiency-", *Loss Prevention Bulletin*, 224, pp.14-17 (2012)
- [68] P.C. Bowes, P.H. Thomas, "Ignition and extinction phenomena accompanying oxygen-dependent self-heating of porous bodies", *Combustion and Flame* Vol.10, Issue 3 pp.221-230 (1966)
- [69] P.C. Bowes, "Thermal ignition in two-component systems, theoretical model", *Combustion and Flame* Vol.13, Issue 5 pp. 521-530 (1969)
- [70] P.C. Bowes, "Thermal ignition in two-component systems, part II-experimental study", *Combustion and Flame*, Vol.19, Issue 1 pp. 55-68 (1972)
- [71] 経済産業省商務流通グループ製品安全課, "石綿(アスベスト)を含有する家庭用品の実態把握調査の結果について", *環境と測定技術* 33(3) pp.29-33 (2006)
- [72] 国土交通省住宅局建築指導課, "民間建築物における吹付けアスベストに関する調査結果について", *建設マネジメント技術* (334) pp.32-36 (2006)
- [73] 本山幸嘉, 高橋俊一, "がれき処理,建築物の解体等に伴うアスベスト飛散防止対策取組の提案", *産業医学ジャーナル* 35(4) pp.8-17 (2012)
- [74] 環境省水・大気環境局大気環境課, "東日本大震災の被災地におけるアスベスト大気濃度調査(第6次モニタリング)におけるアスベスト飛散事例について", *環境と測定技術* 39(9) pp.34-36 (2012)

- [75] 宮原哲也, 陳友晴, 登坂博行, “災害と環境保全(6) 災害廃棄物の発生実態とその対策”, 生活と環境 54(3) pp.78-82 (2009)
- [76] 大野博之, 登坂博行, “災害と環境保全(4)災害における環境汚染と対応 災害廃棄物を中心に(前編)”, 生活と環境 54(1) pp.67-71 (2009)
- [77] 大野博之, 登坂博行, “災害と環境保全(5)災害における環境汚染と対応 災害廃棄物を中心に(後編)”, 生活と環境 54(2) pp.82-89 (2009)

第 4 章

熱危険性評価手法を用いた食品廃棄物等の 自然発火・酸欠に関する研究

4-1 緒論

4-1-1 食品リサイクル法の施行と食品廃棄物の再利用

一般家庭や産業から排出される食品廃棄物中には、不可食部の他に食べられるにもかかわらず廃棄されてしまっているもの（図 4-1）が多数含まれている。特に加工食品やインスタント食品は調理がほぼ不要なため、食に対する考え方が軽視されがちであり、使い捨て商品のように扱われてしまう場合が多いように思われる。

そのため、食品に係る資源の有効な利用の確保（肥料化や飼料化等）、および食品に係る廃棄物の排出の抑制を目的として、食品関連事業者を対象に 2001 年より、食品リサイクル法[1]が施行された。

対象となる食品関連事業者の例として、食品の製造、加工、卸売りを業として行うもの（食品メーカー、八百屋、スーパー等）、飲食店業、その他食事の提供を業として行うもの（食堂、レストラン、ホテル、旅館など）が挙げられ、それらの業者にあつては、食品廃棄物の発生量の 20 %以上を年 5 回再資源化しなければならないとされ、年間発生量が 100 t を超過する事業所においては、罰則の対象とされた[1]。



図 4-1 食べ残しの実態

そこで、各都道府県や自治体では食品廃棄物の再資源化を行うため、様々な取り組みを行ってきている。次にその事例を示す。

- ・山形県鶴岡市[2]

鶴岡市では、1994年から学校給食の残飯と魚市場から排出される残渣の飼料化を行っている。飼料価値の評価は山形大学農学部と市内の養豚農家によって行われており、1997年にはこの飼料で肥育し出荷した豚肉を、学校給食に利用している。

- ・札幌市リサイクルセンター[3]

市内の事業所から排出された食品廃棄物は、同センターへと輸送され、飼料化されている。製品は、配合飼料の原料として配合飼料メーカーに供給されている。

- ・平塚市湘南ぴゅあ[4]

湘南ぴゅあは、2000年から平塚市の食品廃棄物を発酵乾燥させ、その飼料の自家利用に取り組んでいる。

- ・イオン株式会社[5]

食品廃棄物の発生を抑制し、店舗で発生した食品廃棄物に関しては、飼料化を行い、循環型モデルの構築に努めている。

循環型社会を構築していく上で、食品廃棄物の全てが再資源化され、流通および市場の確保が可能となれば望ましいが、現段階では困難であると思われる。上記したいずれの工場でも再資源化については、工夫がなされ絶え間ない努力が続けられている。

排出者責任という視点から考えると、排出者は自らの排出物が最後まで適正に処理され、どのような形で利用されているのかを考え、行動しなければならない。

しかし、飽食といわれる現代の日本では、特に次世代を担う若者にとっては、そういった意識は世代が進むにつれて希薄なものとなってしまっているように思われる[6]-[7]。

4-2 食品廃棄物の再資源化施設等で発生する自然発火・酸欠

4-2-1 肉骨粉の貯蔵場所における自然発火

循環型社会構築への展望と食品リサイクル法の施行等もあり、事業活動に伴って排出される食品廃棄物に対して、再資源化を行い有効利用していこうという試みが各地で試みられている[8]-[10]。

再資源化や利用方法の研究は進められているが、仮に扱う食品廃棄物や再資源化後の製品の潜在的な危険性の細かな検証を怠ったまま、流通が始まってしまった場合、製造・流通・貯蔵等の各過程において、何らかの事故を発生させる可能性が高いことが想定される。

食品廃棄物に関わる、その顕著な事故事例として「肉骨粉」による自然発火[11]-[15]が挙げられる[16]。

肉骨粉とは、牛や豚、鶏といった家畜を解体した際、食肉になる部分を切り取った後の骨や内臓など残った原料を、加熱して脂肪を取り除き、圧縮乾燥させ、さらに粉碎したもので、主に家畜の配合飼料に使われる[17]-[18]。

2001年9月、日本国内で大きな社会問題となったBSE(Bovine Spongiform Encephalopathy、牛海綿脳症、いわゆる狂牛病)が発生し、肉骨粉は感染源として疑われたため、飼料や肥料の原料として使用することができなくなり、一時的に保管された後、焼却処分されることになった[19]-[20]。

大量に保管された肉骨粉は、ほとんど適切な管理がされないまま保管され、2001年12月には鹿児島県鹿児島市で、2002年9月には栃木県宇都宮市で、肉骨粉の貯蔵されていた倉庫から、自然発火による火災が発生した。火災の詳細を資料2に示す。

そこで、肉骨粉の自然発火発生の危険性の把握と安全な貯蔵方法のための研究が行われ、肉骨粉は発酵熱により自然発火を引き起こす可能性が高いということがわかった[16]。

4-2-2 醤油かす・魚粉の貯蔵場所における自然発火・酸欠

千葉科学大学のある千葉県銚子市は、千葉県の北東部に位置しており、醤油醸造と漁業が町の地場産業となっている[21]。

銚子市では、江戸時代から「醤油醸造」が盛んにおこなわれており、現在でもヤマサ・ヒゲタなどの大工場が軒を連ね、また、個人で醤油の醸造販売を行っている蔵(図4-2)もある。

さらに、日本でも有数の水揚げを誇る銚子漁港（図 4-3）があり、これらの地場産業から排出される食品廃棄物や再資源化物品等として、「醤油かす」と「魚粉」が挙げられる。



図 4-2 銚子山十商店



図 4-3 銚子漁港

醤油かすは、諸味を圧搾して、生醤油を取り出す工程で大量に排出される（図 4-4）ものであり、その多くが焼却処分されているが、最近では醤油かすを 2 次加工し、有効利用しようという動きが始まっている。

利用例として、飼料・肥料化以外に、古紙に混ぜて紙として再利用等が試みられている。[22]-[23]

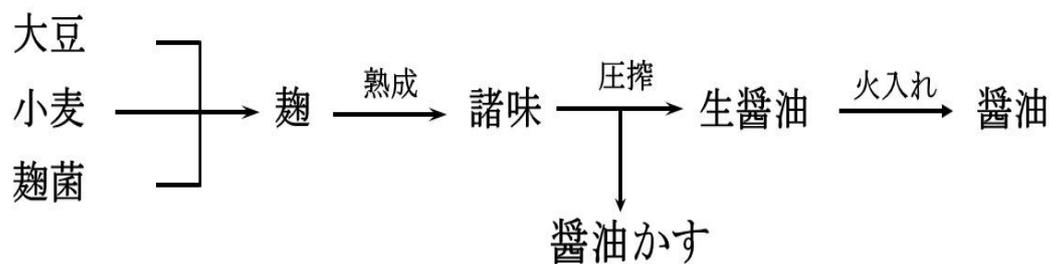


図 4-4 醤油醸造工程

魚粉は、魚を加工する際に排出される内臓や骨などの廃棄物を 2 次加工し、製造されるものである（図 4-5）。また、魚粉は、流通過程と製造方法などから大きく分けて「ホールミール」「荒粕」「身粕」「調整魚粉」等に分類され、銚子市の魚粉工場で生産されているものは、ホールミールである。

魚粉は、日本全体では年間約 20 万 t 前後製造されており[24]、製造された魚粉は、家畜の飼料や、農園業用の肥料、ペットフード等に使われている[25]。

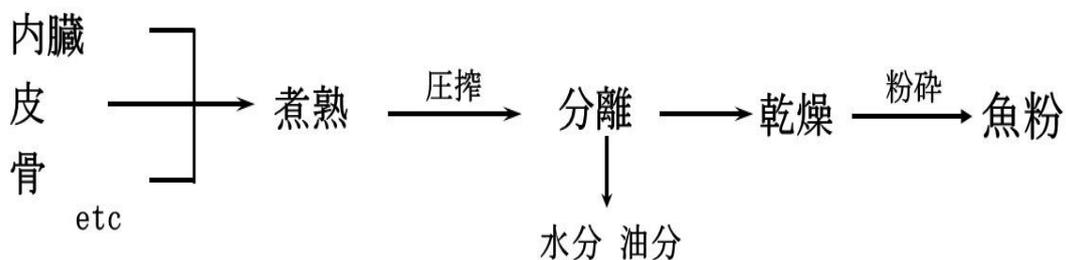


図 4-5 魚粉製造工程

醤油かすと魚粉は、肉骨粉と同様に貯蔵倉庫で自然発火によるものと考えられる火災を発生させている。火災時の詳細を資料 3 と 4 に示す。

そこで、醤油かすと魚粉について、どの程度自然発火による事故が発生しているのかを調べるため、災害情報センターの事故事例検索[26]を用いて火災件数の調査を行った。結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 醤油かすと魚粉の火災事例

年月	場所	概要
1961 年 7 月 2 日	広島県 広島市	永田物産（株）肥飼料倉庫内ボイラー煙突付近 で魚粉が自然発火、倉庫 3 棟半焼

1963年7月29日	神奈川県 横浜市	ノルウェー貨物船「ベンテ・ブロビック」 の船倉内で魚粉が自然発火
1963年8月14日	神奈川県 横浜市	ギリシャ貨物船「ケントリコン」 船倉内で魚粉が自然発火
1967年2月16日	東京都 墨田区	乾燥後の魚粉が、酸化発熱し発火
1967年7月30日	宮城県 柴田町	東北本線船岡駅で輸送中の かます入り魚粉が自然発火
1970年1月14日	大阪府 大阪市	飼料会社倉庫に積み重ねてあった 魚粉自然発火
1971年3月13日	神奈川県 横浜市	貨物船内の魚粉が自然発火
1972年5月3日	福岡県 北九州市	貨物船「ダイアナ・スコー号」船倉の 魚粉が焼損
1973年7月14日	香川県 高松市	宇高連絡船「伊予丸」積載の魚粉が自然発火
1981年3月20日	福岡県 北九州市	貨物船「イスラ・フローシアナ号」 船倉の魚粉が焼損
1994年1月24日	千葉県 野田市	醤油かす処理会社「千秋社」の木造 平屋建の工場から出火、4棟が全焼

結果より、銚子市だけではなく他の地域でも醤油かす・魚粉に起因する自然発火が発生していることがわかった。表 4-1 を見てみると、魚粉の方が火災件数が多いことがみてとれる。魚粉は、醤油かすより自然発火しやすいものとして、全国的に認識されており、抗酸化剤などの添加が行われてきているが、この抗酸化剤は発がん性の可能性が疑われ始めている[27]。

さらに、醤油かすと魚粉の貯蔵場所における事故の危険性は、自然発火が大部分であると考えられていたが、2010年11月には、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、カビ取り作業を行おうとして、倉庫内に立ち入りを行った作業員2名

が酸欠症状[28]-[29]を起し、搬送後死亡するという事故が発生した[30]。事故発生時の詳細を資料 5 に示す。また、事故発生時の状況を図 4-6 ～ 図 4-9 に示す。



図 4-6 醤油かすの貯蔵状況



図 4-7 事故発生時の状況（シャッター付近）



図 4-8 事故発生時の状況（開口部付近）



図 4-9 作業員が立ち入りに用いた開口部（内側より）

事件事例の検索を行っていく過程において印象をうけた点として、醤油かすに関しては、魚粉ほど危険性評価に関する資料が無く、情報不足なのが現状であった。

銚子市における自然発火と苫小牧市における酸欠事故を比較してみると、前者は残暑の時期に発生し、後者は初冬に発生している。気象条件等は、まったくの逆であり、地域特性にも差がある。しかし、酸欠による死亡事故は銚子市でも発生する可能性があり、

また自然発火による火災は、苫小牧市でも発生する可能性が想定される

4-3 熱危険性評価手法を用いた醤油かす・魚粉の危険性評価

第2章において、現地調査の重要性について述べたが、貯蔵時における状況等の聴取を行うため、2010年12月に北海道苫小牧市消防本部と倉庫事業者と共に現地調査を行った。

検証を行っていく過程において、当初酸欠事故原因の有力候補として挙げられたのが、「発酵による酸素の消費」であった。概略として、貯蔵されていた醤油かすの発酵が進み、周囲の酸素を消費してしまい、大量の二酸化炭素を発生させ、倉庫内が酸欠状態となったためと推定された。

第3章においては、災害廃棄物が発酵により、自然発火に至る危険性について、主に論じてきた。しかし、発酵によって引き起こされる事故を想定していく上で、自然発火だけでなく酸欠も視野にいれて事前対策案を作成していかなければならないことが想定される。

また、銚子市は、醤油醸造と漁業が地場産業となっており、これらの産業が市の財政や観光業、千葉科学大学の学業にも大きく貢献していると思われる。

千葉科学大学の理念の1つでもある、産・官・学の連携を踏まえて、大学が地域内に存在する主旨である、地域との共生を目指し、地域に生きる・地域に情報を還元する研究（銚子に生きる・銚子に情報を還元する）を目指し、醤油かすと魚粉を取り上げ熱危険性評価手法を用いて、自然発火と酸欠に至る違いの検証を行った。

さらに、得られた総合的な結果より、第6章において、循環型社会を構築していく上で、食品廃棄物に起因する自然発火や酸欠等の事故にどう対処し、こういった食品廃棄物は今後どうあるべきなのか、といった観点から事前対策の立案をすることも目的とした。

4-3-1 検討に用いた醤油かすと魚粉

今回、熱危険性評価手法の対象とした試料を図4-10～図4-12に示す。「銚子醤油かす」については、小倉醸造株式会社より提供していただき、「銚子魚粉」に関しては、株式会社鞍橋より提供していただいた。

「苫小牧醤油かす」については、2010年の12月に酸欠・死亡事故現場の現地調査を行った際に採取したものをを用いた。

また、含有水分がどの程度影響を与えるのかを検討するため、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。さらに、発酵による発熱や温度上昇等の影響を確かめるため、エチレンオキサイドガス (EOG) [31]-[34]を用いて、滅菌装置内において、17時間滅菌処理を施したものも用いた。



図 4-10 鮫子醤油かす



図 4-11 鮫子魚粉



図 4-12 苫小牧醤油かす

4-3-2 ヨウ素価・油分・含有水分の検討

ヨウ素価が大きく、不飽和結合を多く含み不飽和度が高いものに関しては、空気中の酸素により酸化され、発熱を起こしやすい[35]。また、大量に堆積されている状況であった場合、蓄熱条件がよくなるため、自然発火に至りやすい。

そこで、まず発酵以外の発熱要因の検討と物性の把握を行うため、ウイイスシクロヘキサン法[36]により、ヨウ素価を求めた。ウイイスシクロヘキサン法によるヨウ素価の

定義としては、試料にハロゲンを作用させた場合、吸収されるハロゲンの量をヨウ素に換算し、試料 100 g に対する g 数で表したものをいう[36]。

また、含まれる油分の量と水分の量の検討も行った。油分に関しては、ソックスレー抽出法[37]により求めた。水分に関しては、加熱減量法[38]-[39]により求めた。なお、ソックスレー抽出法における油分の定義は、試料からジエチルエーテルで抽出される物質の試料に対する 100 分率をいい[37]、加熱減量法における含有水分の定義とは、試料を 130 °C ± 3 °C で規定時間加熱した後の乾燥減量の試料に対する 100 分率をいう[38]-[39]。

この実験項目に関しては、自然発火の検討を主としているため、苫小牧醤油かすについては行わなかった。結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 含有水分・含有油分・ヨウ素価測定結果

測定項目	単位	試料名	
		銚子醤油かす	銚子魚粉
含有水分	%	28.2	9.4
含有油分	%	9.4	20.7
ヨウ素価	g / 100 g	107	115

表 4-2 の結果より、醤油かす水分に関しては、銚子醤油かすの方が多く、油分に関しては銚子魚粉の方が多く結果となった。

ヨウ素価に関しては、2 つの試料共に半乾性油の値（ヨウ素価：100 ~ 130）の範囲内[35]となった。ヨウ素価は 2 つの試料ともあまり、変化はみられなかったが、銚子魚粉の方が油分が多く、発熱後の温度上昇の過程においては、銚子醤油かすと比べれば、それらが大きな役割を果たしていることが考えられる。

4-3-3 熱分解開始温度と含有水分量の検討 (TG-DTA)

昇温速度を 2 K/min とした場合の結果を、図 4-13 ~ 図 4-15 に示す。グラフの横軸は、試料の温度を示し、縦軸は TG (重量減量率) と DTA (熱流束) を示す。DTA 曲線のピークは、下向きが吸熱反応を示し、上向きが発熱反応を示す。また、100 °C での重量減少と熱分解開始温度をまとめたものを、表 4-3 に示す。熱分解開始温度は、DTA 曲線が安定したベースラインより、0.1 μV (約 0.01 K) 発熱方向へシフトした温度を読み取った。

銚子醤油かすと銚子魚粉を比較してみると、室温~100 °C で観測された含有水分の蒸発に伴う減量率に関しては、銚子醤油かすが 25.6 %、銚子魚粉が 7.8 % となった。

また、この値を 4-6-2 の加熱減量法で求めた値と比較してみると、3 % 前後の誤差はあるがほぼ同じ値となった。また、DTA 曲線を見てみると、銚子醤油かすの方が銚子魚粉より、発熱反応が激しいことを示した。熱分解開始温度は、銚子醤油かすの方が低く、銚子魚粉より低い温度で、熱分解を開始する可能性があると考えられる。

さらに、銚子醤油かすと苦小牧醤油かすを比較してみると、450 °C 付近で観測される最大発熱ピーク値は、苦小牧醤油かすの方が低い値となったが、それ以外の室温~100 °C での減量率や熱分解開始温度に関しては、両者共にほぼ同じ傾向の結果が観測された。

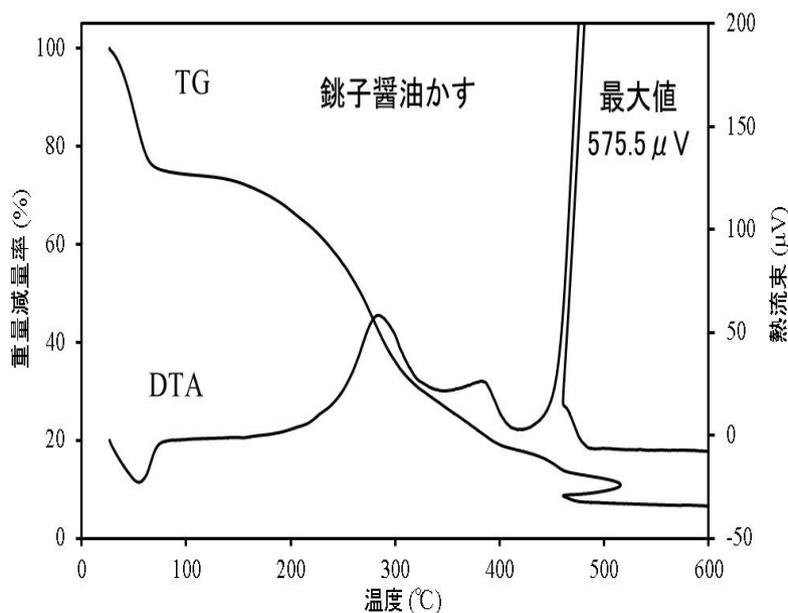


図 4-13 銚子醤油かす TG-DTA 結果 (2 K/min)

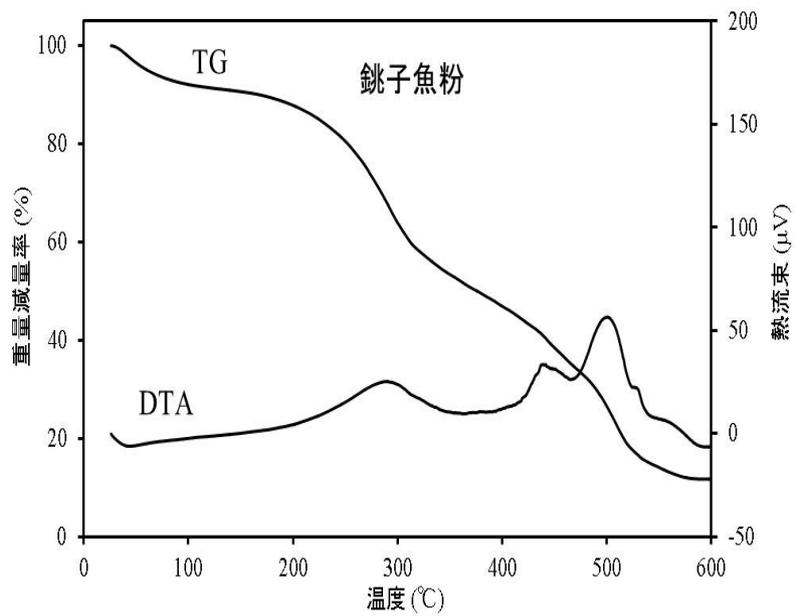


図 4-14 鮫子魚粉 TG-DTA 結果 (2 K/min)

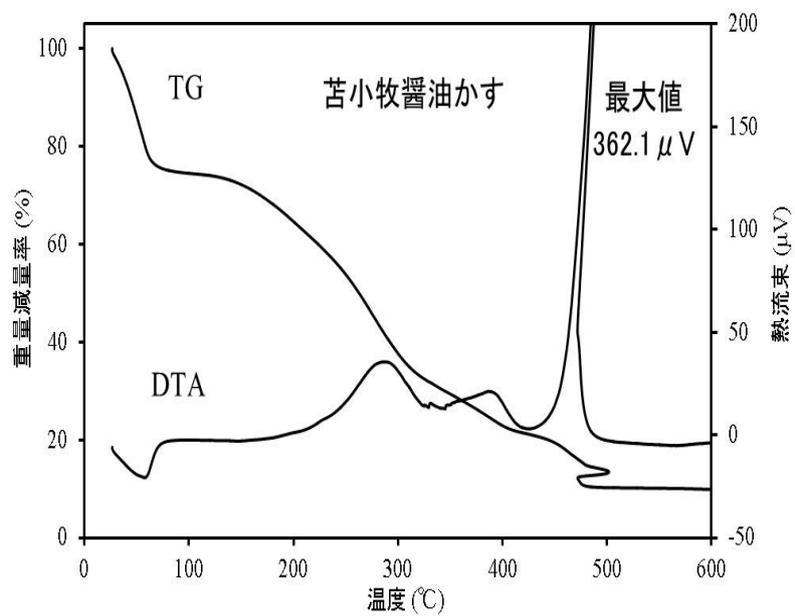


図 4-15 苦小牧醤油かす TG-DTA 結果 (2 K/min)

表 4-3 TG-DTA 結果

試料名	100 °Cでの減量率 (%)	熱分解開始温度 (°C)
銚子醤油かす	25.6	172.9
銚子魚粉	7.8	187.3
苫小牧醤油かす	25.5	172.5

4-3-4 室温付近からの熱挙動の検討 (C80)

昇温速度を 0.1 K/min とした場合の結果を、図 4-16 ~ 図 4-18 に示す。また、発熱開始温度をまとめたものを表 4-4 に示す。今回の発熱開始温度は、ベースラインより 0.005 mW 発熱方向へシフトし始める最初の温度を読み取った。未処理の銚子・苫小牧醤油かすの場合、30 °C未満（測定開始直後）の温度から、発熱の開始がみられた。

一方、EOG 処理を施し、滅菌を行った銚子・苫小牧醤油かすに関しては、測定開始直後から 50 °C近辺にかけての発熱に減少が見られたが、それ以降の温度領域に関しては、ほぼ同じ熱挙動を示した。

EOG 処理を施して測定を行った結果より、銚子・苫小牧醤油かすの測定開始直後から 50 °C近辺にかけて現れる発熱に関しては、発酵が関与している可能性が高い。

また、未処理の銚子魚粉と EOG 処理を施した銚子魚粉の結果を比較してみると、EOG 処理を施したもののほうが、わずかに発熱開始温度は高くなったが、測定開始直後から 50 °C の温度領域において、銚子・苫小牧醤油かすほど大きな変化は現れず、未処理の銚子魚粉と EOG 処理を施した銚子魚粉、両者ともに、ほぼ同じ傾向がみられた。

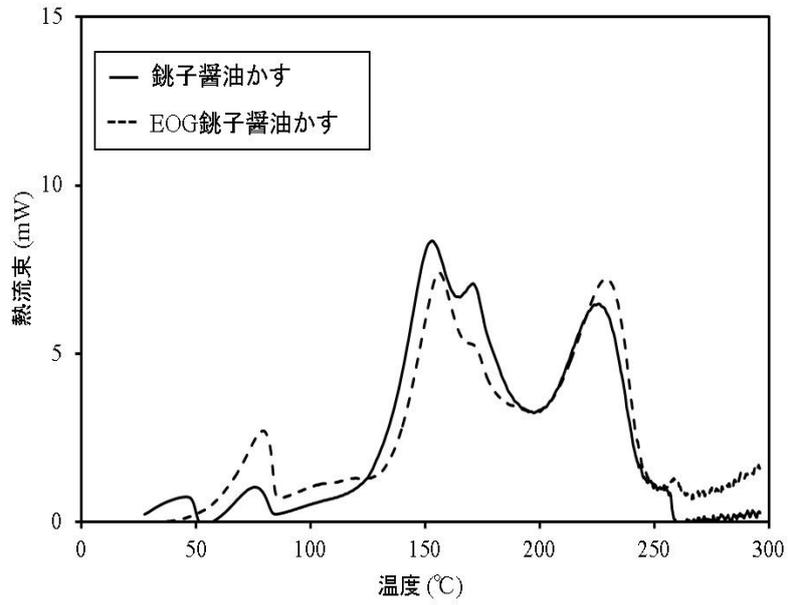


図 4-16 鮭子醤油かす C80 結果 (0.1 K/min)

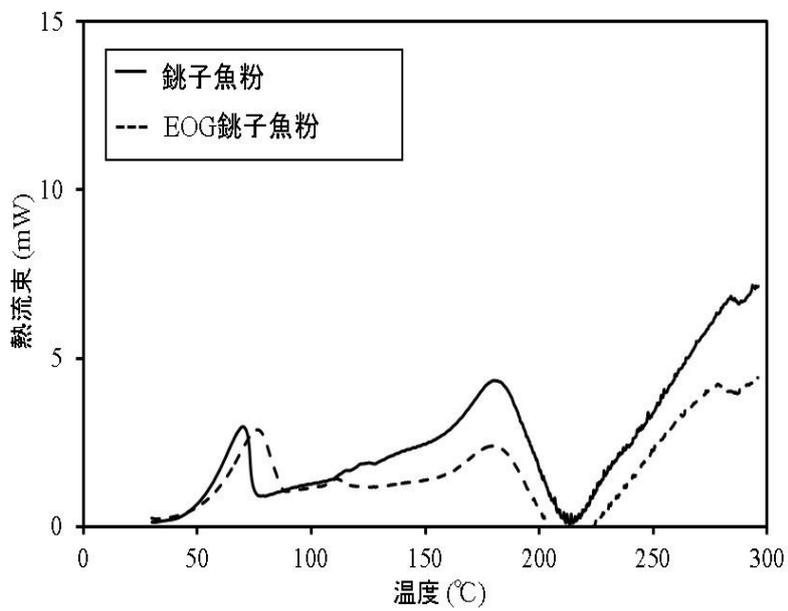


図 4-17 鮭子魚粉 C80 結果 (0.1 K/min)

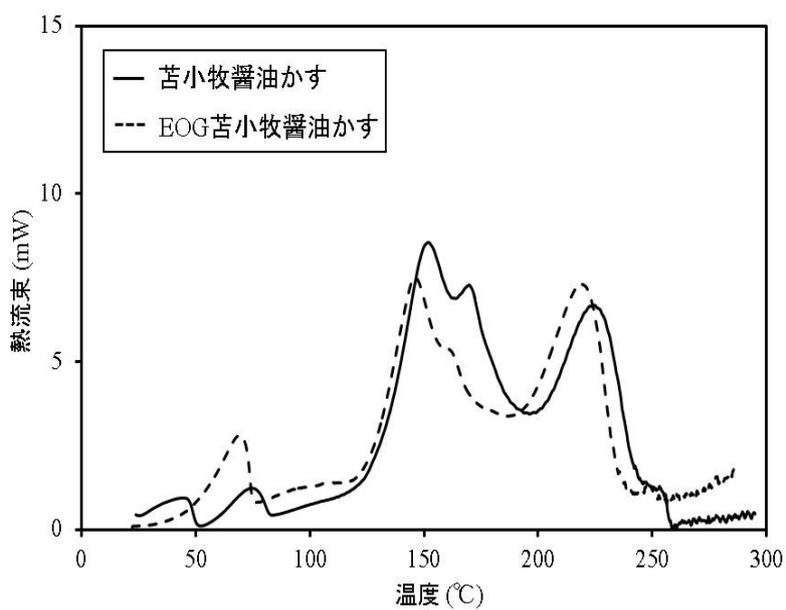


図 4-18 苦小牧醤油かす C80 結果 (0.1 K/min)

表 4-4 C80 結果

試料名	発熱開始温度 (°C)	発熱量 (J/g)	
		室温 ~ 50 °C	50 °C ~ 100 °C
銚子醤油かす	27.6	3.2	9.4
EOG 銚子醤油かす	53.9	≒0	10.9
銚子魚粉	41.2	2.3	11.1
EOG 銚子魚粉	42.3	2.1	10.8
苦小牧醤油かす	27.8	3.3	9.2
EOG 苦小牧醤油かす	53.8	≒0	10.8

4-3-2 における、ソックスレー抽出法により求めた含有油分の測定結果と今回の未処理・EOG 処理の C80 の結果を合わせて考えてみると、室温から 50 °C 付近にかけての発熱・温度上昇に関しては、銚子・苫小牧醤油かすの方が発酵による影響が強く、銚子魚粉に関しては、含まれる脂肪酸エステル類の影響が強いと考えられる。

また、第 3 章の 3-4-3 において、50 °C ~ 80 °C の温度領域における発熱・温度上昇に関しては、脂肪酸エステル類の可能性が高い[40]-[43]という推定を行ったが、本項の銚子魚粉・EOG 銚子魚粉の C80 結果と合わせて考えてみても、その妥当性は高いと思われる。

4-3-5 自然発火温度の検討 (SIT)

ある物質が実際に自然発火するにあたっては、その物質自身の、化学特性、堆積状況、水分や触媒作用を有する物質の介在等のいくつかの要因が影響してくるが、その場の周囲温度が最も重要な要素となってくる[44]-[46]。そこで、大量貯蔵時の断熱状況を擬似的に作り出せる、自然発火試験装置[47]-[49]を用いて周囲温度何°Cで自然発火を生じさせる可能性があるのかの検討を行った。

この実験項目に関しては、自然発火の検討を主としているため、苫小牧醤油かすについては行わなかった。自然発火試験による銚子醤油かすの結果を図 4-19 (保持温度：室温 ~ 100 °C) と図 4-20 (保持温度：100 °C ~ 200 °C) に示す。また、銚子魚粉の結果を、図 4-21 (保持温度：室温 ~ 100 °C) と図 4-22 (保持温度：100 °C ~ 200 °C) に示す。図内に示す断熱昇温曲線は、試料内に熱の発生がない時には一定値を示し、熱が蓄積され、発熱が始まると試料温度の上昇を示す。

結果より、銚子醤油かすと銚子魚粉の自然発火特性は、周囲温度と共に変化していくことがわかった。銚子醤油かすの場合、今回の測定条件では、周囲温度 27 °C 以下では、発熱は観測されず、温度上昇を開始し自然発火を起こす可能性がある最低温度は、27 °C ~ 29 °C にあることがわかった。

また、29 °C ~ 64 °C の温度領域では、温度上昇に至るまでの誘導時間が周囲温度の上昇と共に短くなるが、65 °C ~ 80 °C の温度領域においては、逆に温度上昇に至るまでの誘導時間が周囲温度の上昇と共に長くなる傾向がみられた。さらに、85 °C ~ 130 °C の温度領域では、保持した温度以上に温度上昇することはなかった。

これに関しては、第 3 章の 3-4-6 においても示したように、含有水分の蒸発・沸騰による吸熱により、今回の測定条件とした時間内においては、温度上昇に至るための壁を乗り越えられなかったことが考えられる。さらに保持する周囲温度を上昇させていくと、

135 °C ~ 200 °Cの温度領域では、熱分解が起こり[50]-[55]、温度上昇が始まるという傾向がみられた。

銚子醤油かすと銚子魚粉の結果を比較してみると、ほぼ同じ周囲温度で保持を行ったとしても、醤油かすの方が発熱後温度上昇に至る時間は短い結果となった。また、銚子醤油かす・銚子魚粉いずれも、周囲温度 40 °C前後で保持を行った場合、約 30 時間で 250 °Cまで温度上昇がみられた。このことより、第3章の図 3-9 で示したように、真夏や残暑の時期には、自然発火に注意を払わなければならないことが考えられる。

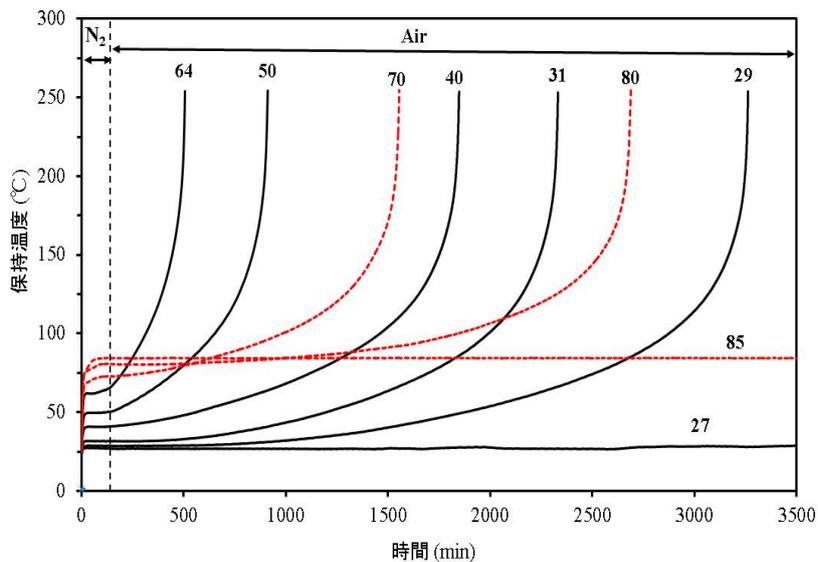


図 4-19 銚子醤油かす SIT 結果 (保持温度：室温 ~ 100 °C)

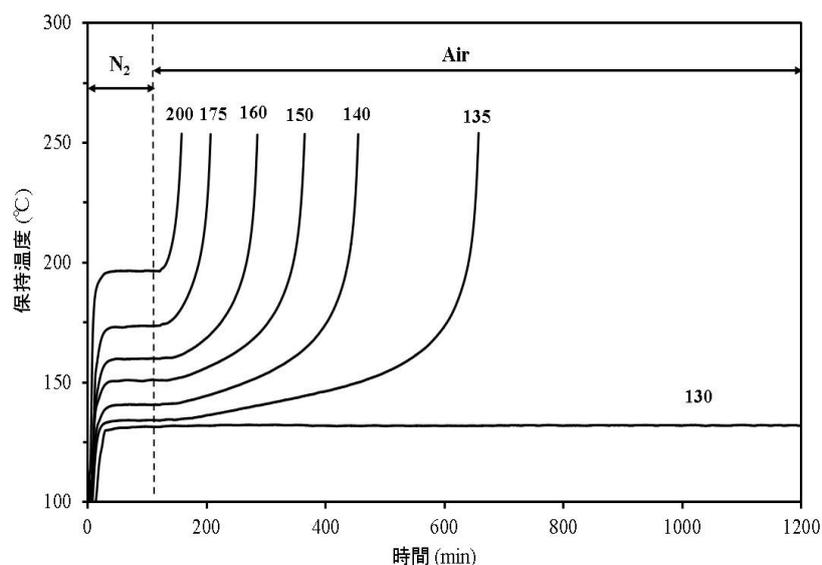


図 4-20 銚子醤油かす SIT 結果 (保持温度：100 °C ~ 200 °C)

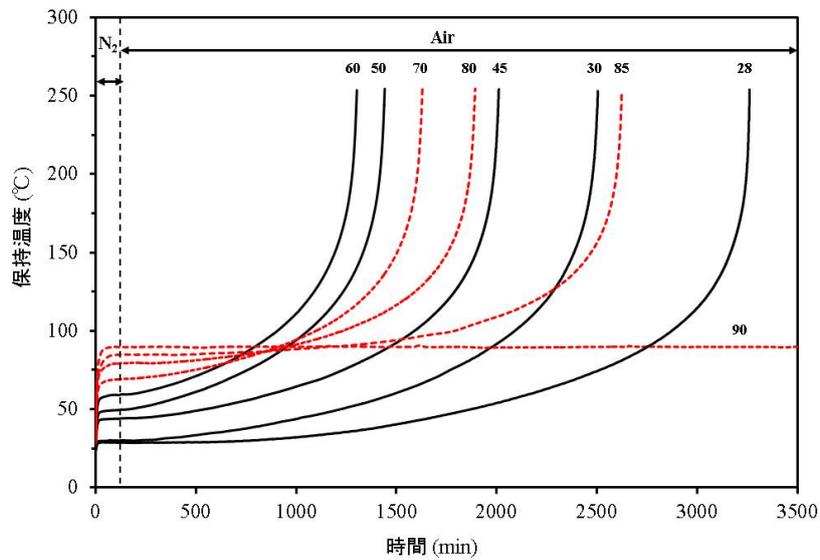


図 4-21 鮫子魚粉 SIT 結果 (保持温度 : 室温 ~ 100 °C)

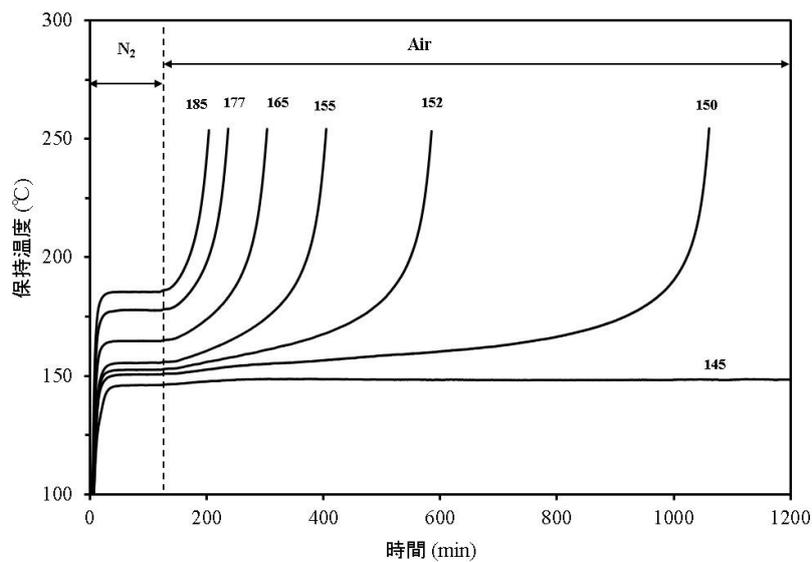


図 4-22 鮫子魚粉 SIT 結果 (保持温度 : 100 °C ~ 200 °C)

4-3-6 熱分解開始後の燃焼挙動の検討 (ワイヤーバスケット)

TG-DTA 測定と SIT 測定により、得られた熱分解開始温度の結果を踏まえて、熱分解開始後から燃焼の過程をより詳細に検討するため、SIT 測定の約 800 倍に相当する 400 g の試料を用いて、国際連合危険物輸送勧告書[56]に規定されているワイヤーバスケット

測定を行った。

結果を図 4-23 と図 4-24 に示す。また、保持温度における結果の概要等をまとめたものを表 4-5 と表 4-6 に示す。

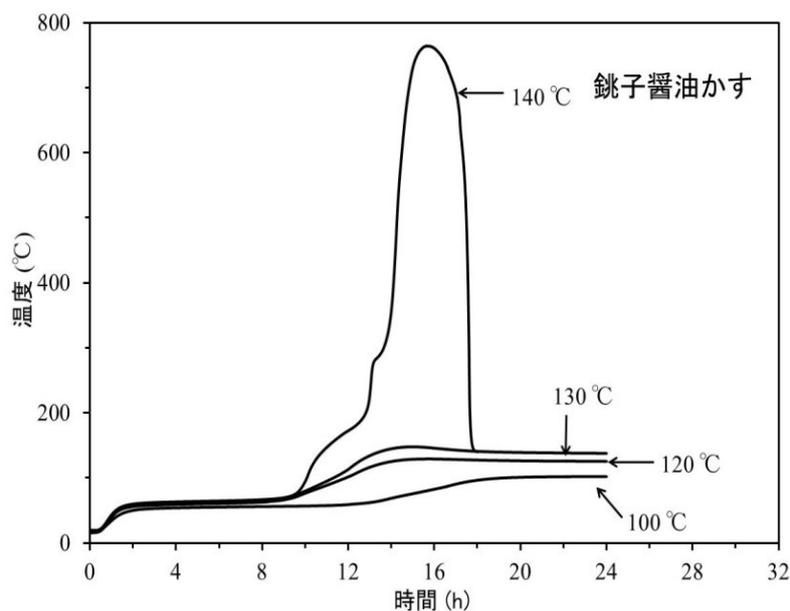


図 4-23 銚子醤油かすワイヤーバスケット結果

表 4-5 銚子醤油かすワイヤーバスケット結果

試料名	銚子醤油かす			
設定温度	100 °C	120 °C	130 °C	140 °C
容器サイズ	10 cm 容器			
結果	設定温度から 60 °C を超える発熱はみられなかった	設定温度から 60 °C を超える発熱はみられなかった	設定温度から 60 °C を超える発熱はみられなかった	最大で 764.3 °C の発熱がみられた

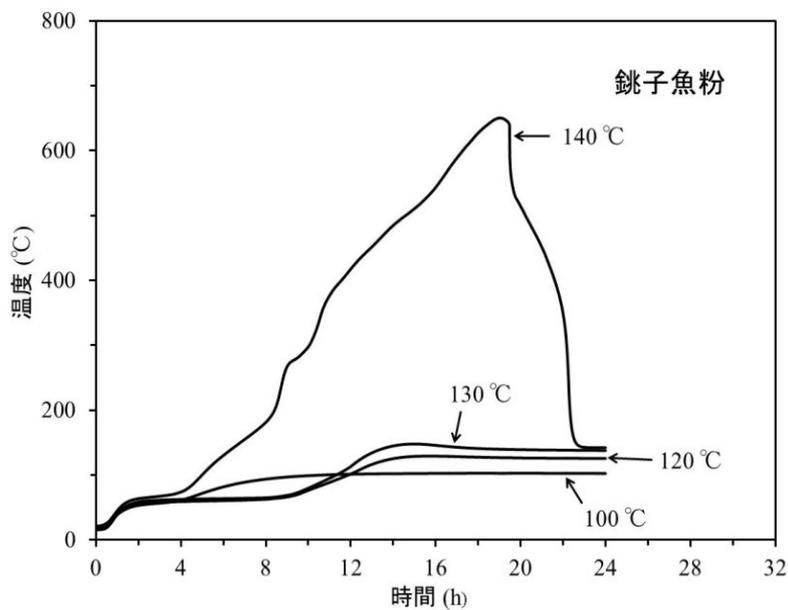


図 4-24 鮫子魚粉ワイヤーバスケット結果

表 4-6 鮫子魚粉ワイヤーバスケット結果

試料名	鮫子魚粉			
設定温度	100 °C	120 °C	130 °C	140 °C
容器サイズ	10 cm 容器			
結果	設定温度から 60 °C を超える発熱はみられなかった	設定温度から 60 °C を超える発熱はみられなかった	設定温度から 60 °C を超える発熱はみられなかった	最大で 650.5 °C の発熱がみられた

結果より鮫子醤油かすと鮫子魚粉は、約 140 °C で加熱保持された場合、熱分解を開始し火災に至る可能性があることがわかった。この値は、SIT 測定で得られた図 4-20 と図

4-22 の結果とほぼ同様の値となった。TG-DTA 結果との誤差が生じた理由として、装置上の感度、擬似断熱状態での測定、試料量の違い等が想定される。

銚子醤油かすと銚子魚粉の熱分解開始後の挙動を比較してみると、保持温度が同じであったとしても、銚子魚粉の方が早い段階で熱分解後温度上昇に至る傾向がみられた。しかし、銚子醤油かすの方が一度熱分解を開始すると、急激な温度上昇がみられ、観測された最大の温度値も銚子魚粉より高い結果となった。

これらの結果を合わせて考えてみると、銚子醤油かすの方が熱分解を開始し、燃焼に至った場合、危険性が高いことが考えられる。

4-3-7 燃焼熱量の検討 (C2000)

火災時の燃焼の激しさの検討を行うため、燃焼熱量の測定を行った。燃焼熱量は、ある単位量の物質が完全燃焼した際に発生する熱量をいい、その値が大きいほど周囲へ与える熱量は大きく、火災拡大の恐れがある[57]。また、醤油かすは、ボイラーを燃焼させる際に利用されている事例もあり、塩分問題（燃焼炉に損傷を与えるため）を解消できれば、さらに幅広い場所での使用が期待されている[58]-[61]。

この項目の測定に関しては、熱利用（サーマルリサイクル）の観点からも、評価検討を行うため、苫小牧醤油かすも測定に用いた。また、25℃の恒温槽で10日間保持を行い、含有水分量を10%以下に調整したものも用いた。結果を表4-7～表4-9に示す。

表 4-7 銚子醤油かす燃焼熱量結果

試験番号	燃焼熱量 10 ³ kJ/kg	
	銚子醤油かす	乾燥後銚子醤油かす
1	16.69	20.07
2	16.75	20.07
3	16.72	20.00
4	16.73	20.10
5	16.68	20.00
平均値	16.71	20.05

表 4-8 鮭子魚粉燃焼熱量結果

試験番号	燃焼熱量 10 ³ kJ/kg	
	鮭子魚粉	乾燥後鮭子魚粉
1	18.66	21.98
2	18.89	21.89
3	19.05	22.10
4	18.89	21.93
5	19.00	21.87
平均値	18.90	21.95

表 4-9 苦小牧醬油かす燃焼熱量結果

試験番号	燃焼熱量 10 ³ kJ/kg	
	苦小牧醬油かす	乾燥後苦小牧醬油かす
1	15.67	19.98
2	15.44	19.76
3	15.73	19.85
4	15.77	19.99
5	15.44	19.96
平均値	15.61	19.91

未処理の鮭子醬油かすの燃焼熱量の平均値は 16.71×10^3 kJ/kg、未処理の鮭子魚粉の燃焼熱量は 18.90×10^3 kJ/kg、未処理の苦小牧醬油かすの燃焼熱量は 15.61×10^3 kJ/kg となった。また、乾燥処理を行った場合鮭子・苦小牧醬油かすでは約 20%、鮭子魚粉では約 16%燃焼熱量の値に増加がみられた。

既存の再生資源燃料等との比較をしてみると、RDF (Refuse Derived Fuel) ・下水道汚泥燃料・木質ペレットの燃焼熱量がそれぞれ、 $16.80 \times 10^3 \sim 21.80 \times 10^3$

kJ/kg、 $14.88 \times 10^3 \sim 23.40 \times 10^3$ kJ/kg、 $17.65 \times 10^3 \sim 19.70 \times 10^3$ kJ/kg となってお

り[62]、未処理の状態であっても、銚子・苫小牧醤油かすと銚子魚粉は、既存の再生資源燃料とほぼ同等の値を示す結果となった。

熱分解開始後の、燃焼過程においては、含有水分はそのほとんどが蒸発しているため、乾燥後の値を参考にすることができると考えられる。

4-3-6 で行ったワイヤーバスケット試験の結果より、銚子醤油かすは熱分解後、銚子魚粉と比較して急激な温度上昇を見せる結果となったが、燃焼熱量の測定結果と合わせて考えてみると、乾燥後の燃焼熱量に多少の差はあるが、銚子醤油かすの方が、熱分解後の温度上昇は速く、銚子魚粉に比べれば急速に火災を拡大させる可能性がある。

また、苫小牧醤油かすは、銚子醤油かすとほぼ同じ結果を示してきており、苫小牧醤油かすに関しても、自然発火を引き起こした場合、急速に火災を拡大させる可能性があると考えられる。

4-3-8 発酵によって生じるガスの検討 (GC)

C80 の EOG 処理測定結果と SIT 測定結果より、室温から 50 °C までの温度領域では、発酵が影響を与えている可能性が高いという結果となった。

そこで、それぞれの試料を 1 L のガラス瓶内で密栓保持を行い、5 °C ~ 50 °C までの異なる温度領域でそれぞれ保持を行い、発生ガスから発酵の影響について検討を行った。

また、苫小牧の酸欠死亡事故現場では、気温 6.5 °C という状況で酸欠が発生しているため、貯蔵場所の状況等を踏まえて、気温何 °C 前後から酸欠を生じさせる可能性があるのかも視野に入れ行った。

また、発酵の場合、含有水分量も影響を与えられられるため、試料に対して蒸留水 20 % を添加したものについても測定を行った。

結果を表から表 4-10 ~ 表 4-12 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 4-13 に示す[63]。さらに、表を基にして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 4-25 ~ 図 4-30 に示す。

表 4-10 銚子醤油かす GC 結果

試料名	保持期間	保持温度	ガス分析結果 (%)					
			O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
銚子醤油かす	10日間	5 °C	18.57	77.39	-	-	-	1.25
銚子醤油かす + 蒸留水20 %			12.33	77.78	-	-	-	5.83
銚子醤油かす		15 °C	16.21	78.76	-	-	-	2.35
銚子醤油かす + 蒸留水20 %			5.32	79.32	-	-	-	15.31
銚子醤油かす		25 °C	1.71	79.38	-	-	-	16.08
銚子醤油かす + 蒸留水20 %			1.66	79.12	-	-	-	18.19
銚子醤油かす		30 °C	1.65	81.20	-	-	-	16.55
銚子醤油かす + 蒸留水20 %			1.54	79.63	-	-	-	18.22
銚子醤油かす		40 °C	2.13	79.20	-	-	-	15.31
銚子醤油かす + 蒸留水20 %			0.89	80.28	-	-	-	16.43
銚子醤油かす		50 °C	12.76	80.22	-	-	-	5.62
銚子醤油かす + 蒸留水20 %			10.23	78.90	-	-	-	7.53

表 4-11 鮫子魚粉 GC 結果

試料名	保持期間	保持温度	ガス分析結果 (%)					
			O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
鮫子魚粉	10日間	5 °C	20.42	76.67	-	-	-	0.04
鮫子魚粉 + 蒸留水20 %			19.62	77.13	-	-	-	0.13
鮫子魚粉		15 °C	20.30	76.82	-	-	-	0.04
鮫子魚粉 + 蒸留水20 %			18.65	77.46	-	-	-	0.57
鮫子魚粉		25 °C	20.11	77.42	0.001	0.0034	-	0.49
鮫子魚粉 + 蒸留水20 %			3.95	83.31	0.001	0.014	-	11.60
鮫子魚粉		30 °C	14.28	81.26	0.003	0.050	-	0.85
鮫子魚粉 + 蒸留水20 %			3.47	82.10	0.006	0.0073	-	12.34
鮫子魚粉		40 °C	16.06	79.70	0.003	0.041	-	0.62
鮫子魚粉 + 蒸留水20 %			5.67	80.52	0.03	0.071	-	10.55
鮫子魚粉		50 °C	17.21	79.2	0.006	0.15	-	0.54
鮫子魚粉 + 蒸留水20 %			6.88	80.2	0.007	0.21	-	8.53

表 4-12 苦小牧醬油かす GC 結果

試料名	保持期間	保持温度	ガス分析結果 (%)					
			O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
苦小牧醬油かす	10日間	5 °C	20.03	76.11	-	-	-	0.44
苦小牧醬油かす + 蒸留水20 %			12.58	76.71	-	-	-	5.80
苦小牧醬油かす		15 °C	19.85	76.41	-	-	-	0.86
苦小牧醬油かす + 蒸留水20 %			9.40	78.41	-	-	-	11.70
苦小牧醬油かす		25 °C	2.53	77.71	-	-	-	16.74
苦小牧醬油かす + 蒸留水20 %			1.49	77.47	-	-	-	17.85
苦小牧醬油かす		30 °C	2.50	78.61	-	-	-	16.73
苦小牧醬油かす + 蒸留水20 %			1.38	77.55	-	-	-	18.02
苦小牧醬油かす		40 °C	3.30	78.02	-	-	-	14.64
苦小牧醬油かす + 蒸留水20 %			1.44	80.63	-	-	-	15.42
苦小牧醬油かす		50 °C	12.73	78.60	-	-	-	5.64
苦小牧醬油かす + 蒸留水20 %			11.58	78.90	-	-	-	6.42

表 4-13 酸素濃度と症状

酸素濃度 (%)	症状
16 ~ 12	脈拍・呼吸数の増加、精神集中に努力が必要、細かい筋作業が困難、頭痛、悪心、耳鳴
14 ~ 9	判断力低下、発揚状態、不安定な精神状態、刺傷などに無感覚、酩酊状態、記憶障害、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

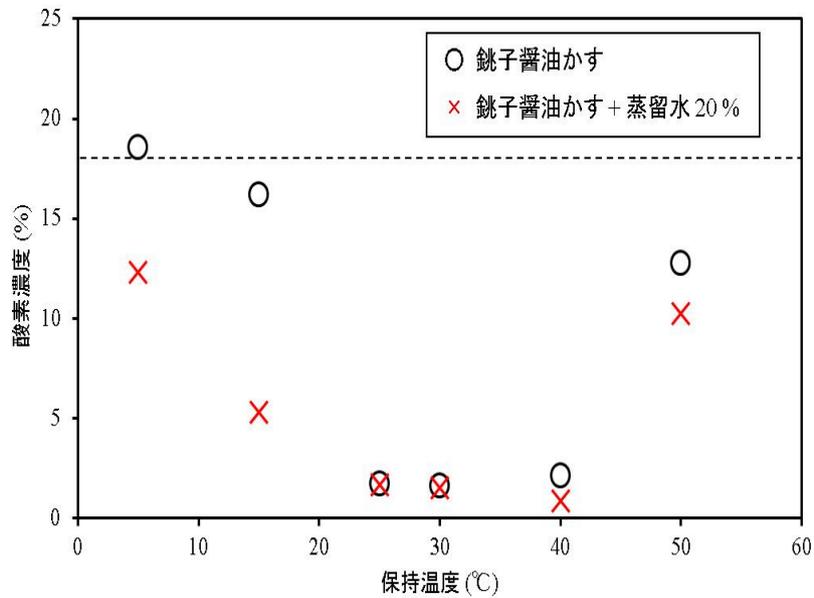


図 4-25 銚子醤油かすの保持温度と酸素濃度の関係

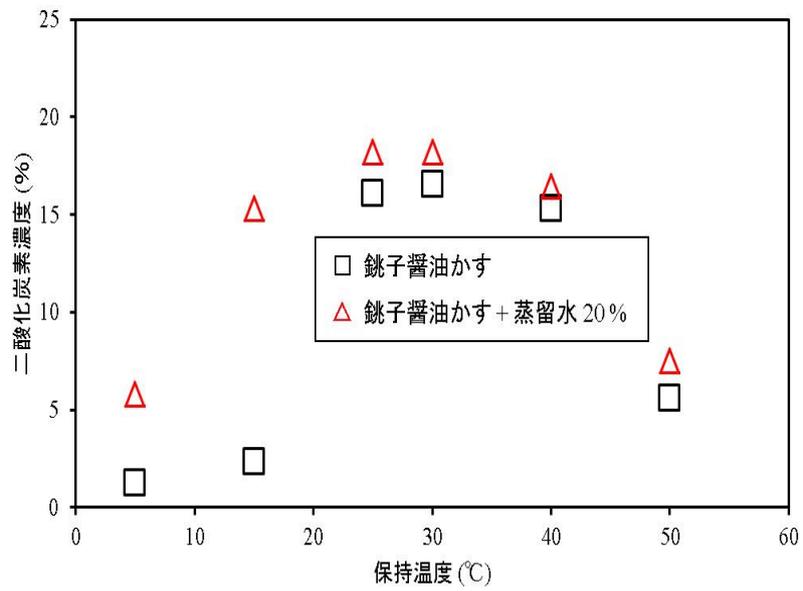


図 4-26 鮭子醤油かすの保持温度と二酸化炭素濃度の関係

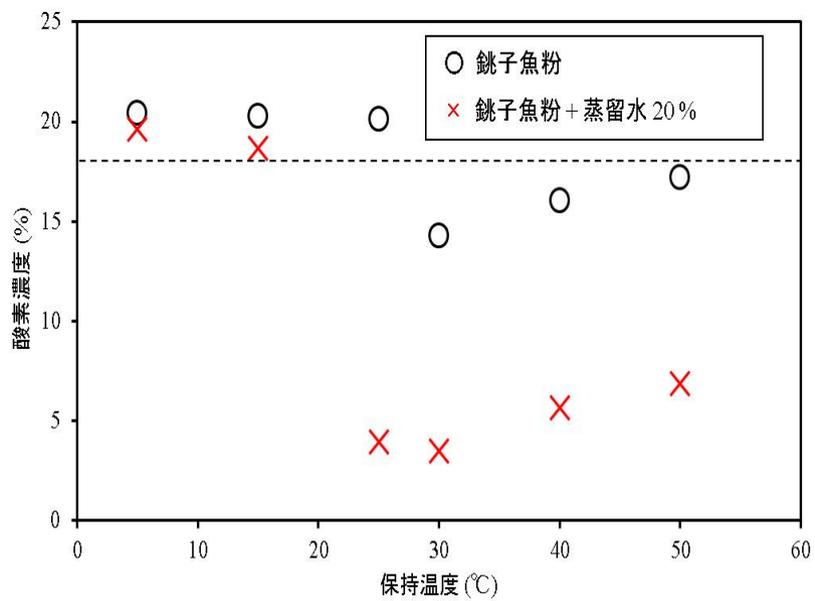


図 4-27 鮭子魚粉の保持温度と酸素濃度の関係

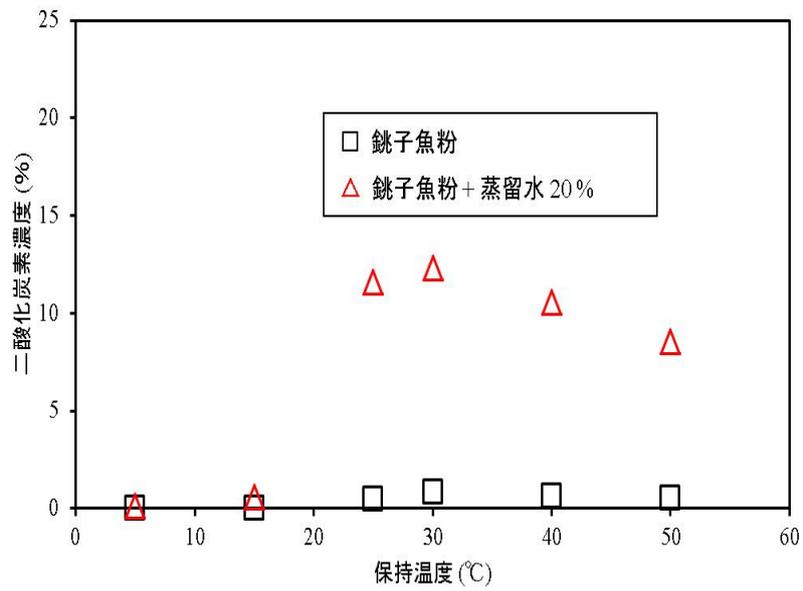


図 4-28 鮫子魚粉の保持温度と二酸化炭素濃度の関係

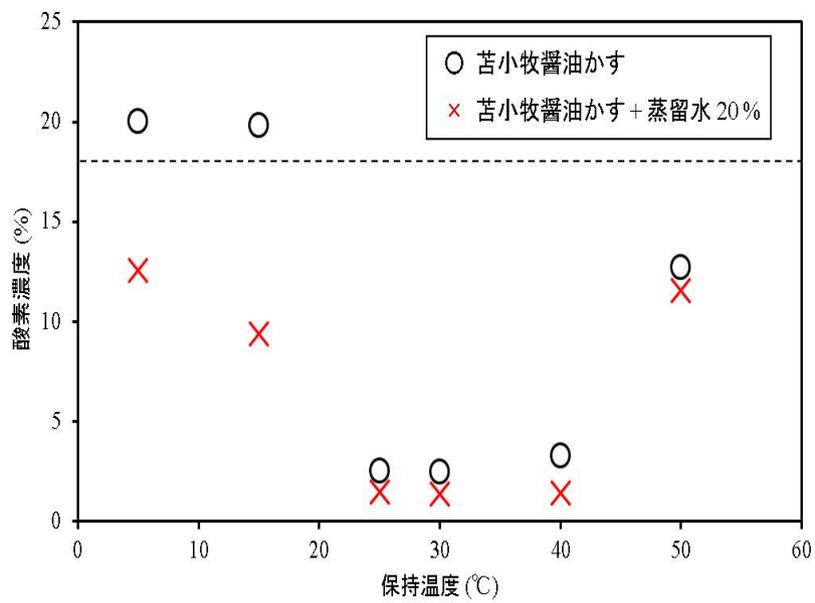


図 4-29 鮫子魚粉の保持温度と酸素濃度の関係

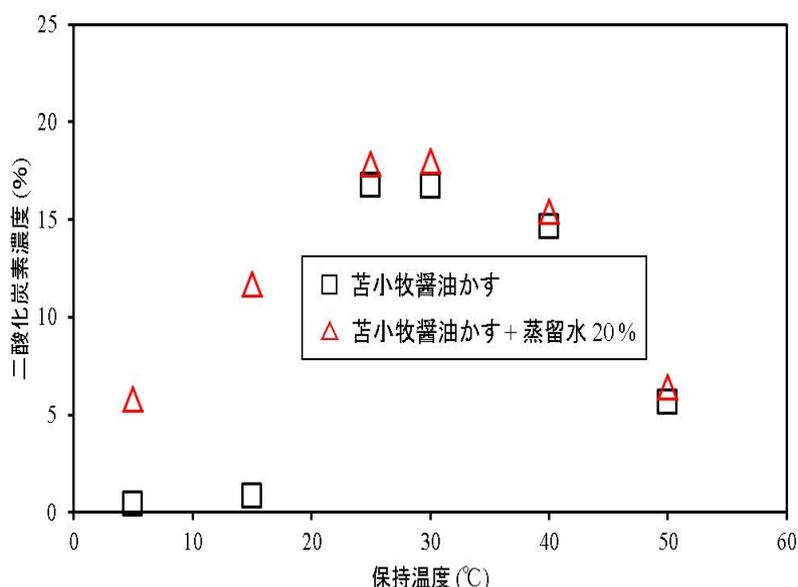


図 4-30 苦小牧醤油かすの保持温度と二酸化炭素濃度の関係

結果より、今回の測定条件においては、銚子・苦小牧醤油かすの貯蔵時における発生ガスの大部分は、二酸化炭素であることがわかった。また、銚子魚粉からは、二酸化炭素以外に一酸化炭素や水素等の可燃性ガスがわずかに観測された。また、いずれの場合においても水分を添加した場合、二酸化炭素の発生量に増加がみられた。

銚子・苦小牧醤油かすの場合、25℃以下の貯蔵であっても、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。苦小牧で発生した、酸欠死亡事故は気温6.5℃という条件で発生しているが、現場条件とこの測定結果からみても、事故発生に対して妥当性があると考えられる。

この結果より、低い温度での貯蔵であっても、醤油かすのように低温でも条件次第で、大量の二酸化炭素を発生させ、酸素濃度を低下させるものを貯蔵する場合、湿度や換気量に十分注意しなければならないことが想定できる。また、銚子魚粉に関しては、25℃未満の温度領域では、身体にすぐに影響を及ぼす量まで、酸素濃度の低下は見られなかったが、25℃以上で密栓保持した場合の各結果からは、酸素濃度の急激な低下が見られたものもあった。

今回用いた、ガスクロマトグラフ測定に用いた3種類の試料においては、5℃～30℃までの温度領域に関しては、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。C80の結果と合わせて考えても、この温度領域に関しては、発酵が影響を及ぼしている可能性が高い[64]-[65]。

また、上述してきた一連の熱分析測定結果を通して、銚子醤油かすと苫小牧醤油かすは、ほぼ同様の測定結果を示してきている。銚子での醤油かすによる自然発火と苫小牧での醤油かすによる酸欠死亡事故は、場所も年代もまったく別々なところで発生している。

しかし、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。

4-3-9 数値計算を用いた自然発火と酸欠に関する危険性の推定

大量に堆積または貯蔵された物質の危険性を推定する手法として、活性化エネルギーの算出、または、Semenovの理論[66]やFrank-Kamenetskiiの理論[67]による堆積高さ、周囲温度の関係性の算出等が挙げられる。これらの手法は、実際に石炭の貯蔵場所における安全性の推定等に用いられている[68]。しかし、この手法にはいくつかの難点があり、その例として、第3章で用いたような災害廃棄物に対しては、この手法の適用は難しい[69]-[71]。

その理由として、石炭のように単一の物質のみが、堆積貯蔵されている場合には適用可能であると考えられるが、災害廃棄物のように多種多様な物質が混在して堆積されている場合においては、適応後一応の算出は可能であるが、算出されたその値の妥当性や信頼性は、未知数であるということが報告されている[69]-[71]。

しかし、第4章で用いている醤油かすや魚粉に関しては、4-2-2で示したように単一の種類がトランスバック等に袋詰めされ、堆積貯蔵されているため、上述したような数値計算手法の適用が可能であると考えられる。そこで、今回は、それらの数値計算手法を用いて値の算出を行い、自然発火・酸欠等の危険性の検討を行った。

また、4-3-8でも論じたが、今回用いてきた銚子・苫小牧の両醤油かすは、熱分析と発生ガス分析による、一連の測定結果からみても、採取場所は異なるが、ほぼ同様の性状を有するものであると考えられる。そこで、今回は、銚子醤油かすの算出結果を応用し、

苫小牧の酸欠事故現場における考察と安全対策も同時に導きだすことを視野に入れ検討を行った。

4-3-9-1 活性化エネルギーの算出

活性化エネルギーの定義とは、ある反応を進行させるために必要なエネルギーとされている[72]。今回、活性化エネルギーの算出は、4-3-5 より求められた SIT の結果を用いて行った。発熱開始から自然発火に至るまでの初期段階においては、誘導期と呼ばれる温度上昇期間が存在する[48]。

この期間においては、温度上昇は緩慢なものであり、発熱反応は零次反応と近似することができる。ある保持温度 T において、断熱状態に近い状態にある試料が零次反応にしたがって発熱する場合、以下の式 4-1 が成立する。

$$\ln \Delta t = \frac{E}{R \cdot T} + \ln \left[\frac{\Delta T \cdot c \cdot \rho}{\Delta H \cdot A} \right] \dots \dots \dots (4-1)$$

ここに、 Δt (s) は試料温度が T (K) $\sim T + \Delta T$ (K) まで上昇するのに要する時間である。この Δt は、4-3-5 で求めた SIT 結果に示される、各断熱昇温曲線における最大傾斜角の傾きと保持温度の延長線との交点から求めた。

R ($\text{kJ mol}^{-1} \text{K}^{-1}$) は気体定数であり、 c ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)、 ρ (kg m^{-3})、 ΔH (J mol^{-1}) は、それぞれ、試料の比熱、密度、反応熱である。 E (J mol^{-1})、 A ($\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$) は、当該発熱反応の速度定数の活性化エネルギーおよび、頻度因子である。

式 4-1 に示される $\ln \Delta t$ を SIT 結果より求めた誘導時間の逆数 $1/T$ に対してプロットしていくと、図 4-31 に示すような直線が得られ、この直線の傾き a および切片 b は、それぞれ式 4-2 と 4-3 のように表すことができる。

$$a = \frac{E}{R} \dots \dots \dots (4-2)$$

$$b = \ln\left[\frac{\Delta T \cdot c \cdot \rho}{\Delta H \cdot A}\right] \dots \dots \dots (4-3)$$

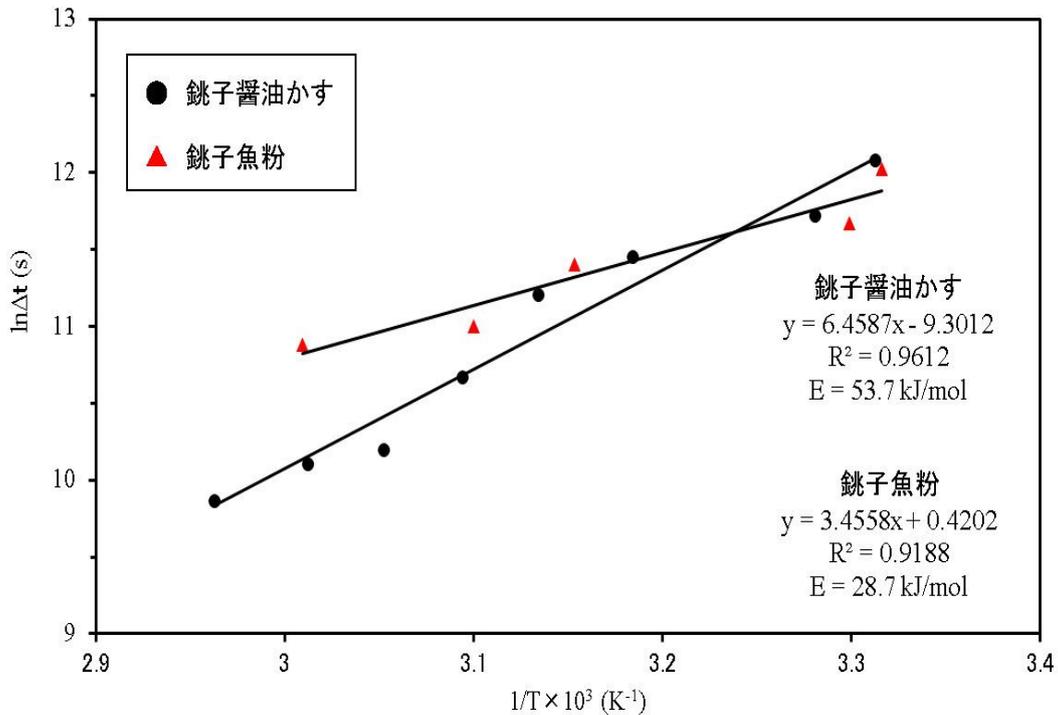


図 4-31 lnΔt と 1/T の関係

熱分析や発生ガスの分析により、発酵が影響を与えている可能性が高いと推定してきた、室温（25℃前後）～50℃前後までを対象として、式 4-2 より活性化エネルギーの算出を行った。

結果より、鮫子醤油かすの活性化エネルギーは 53.7 kJ/mol、鮫子魚粉の活性化エネルギーは、28.7 kJ/mol となった。鮫子魚粉の方が今回算出の対象とした温度領域においては、活性化エネルギーの値が低く、反応を進行させるために必要なエネルギーの量は、低いという結果となった。

4-2-2 で示した、醤油かすと魚粉に起因する火災等の事故件数を見ると、魚粉の方が、醤油かすより件数が多く、この算出結果は妥当性があると思われる。

4-3-9-2 堆積高さとの関係性

醤油かすや魚粉は、4-2-2 で示すように、トランスバック等に詰められ立方体状に数段に堆積後、貯蔵されており、系の内部には温度分布が存在するため、Frank-Kamenetskii の理論が適用可能であると考えられる。そこで、Frank-Kamenetski の理論式を用いて、堆積高さと同周囲温度の関係性について算出を行った。

また、この項目に関しては、自然発火の引き金となりうる発酵等を含めた初期の発熱と堆積高さとの関係性、さらに、発酵等が活発になることによって生じる酸欠と堆積高さの関係性も視野に入れ考察を行った。Frank-Kamenetskii に関する理論式は、以下のように表される。

$$\delta_c = \frac{\Delta H \cdot E \cdot r^2 \cdot A}{\lambda \cdot R \cdot T_c^2} \exp\left[-\frac{E}{R \cdot T_c}\right] \dots \dots \dots (4-4)$$

(4-4) 式の両辺において自然対数を整理すると式 (4-5) になる。

$$\ln T_c + \frac{(E/R)}{2T_c} = \ln r + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{(\Delta H \cdot A)(E/R)}{\delta_c \cdot \lambda} \right] \dots \dots \dots (4-5)$$

(4-5) 式に活性化エネルギーの算出時に得られた、(4-2) および (4-3) 式を代入して、(E/R) や ln(ΔH・A) を消去していくと、式 (4-6) が得られる。

$$\ln T_c + \frac{a}{2T_c} = \ln r + \frac{1}{2} \left[\ln \left(\frac{a \cdot \Delta T \cdot c \cdot \rho}{\delta_c \cdot \lambda} \right) - b \right] \dots \dots \dots (4-6)$$

式 4-6 内に示される、Tc はある反応を開始させる周囲温度の限界値であり、δc は Frank-Kamenetskii パラメータ (立方体の場合 δc = 2.52) であり、a と b は、図 4-35 に示される活性化エネルギーの項目で求めた、a (銚子醤油かす：6.4587、銚子魚粉：3.4558) と b (銚子醤油かす：9.3012、銚子魚粉：0.4202) を当てはめることができる。

また、ΔT に関しては、1 K とした[48]。そして、表 4-14 に示される各パラメータを式 4-6 に代入し、算出を行った。表 4-14 に示される比熱容量は DSC 法[73]によって求

め、熱伝導率に関しては、熱線法[74]により求めた。

表 4-14 算出に用いた各パラメータ

パラメーター	単位	値	
		銚子醤油かす	銚子魚粉
Frank-Kamenetskii' パラメータ δc	無次元	2.52	
温度上昇 ΔT	K	1	
比熱容量 c	J / kg K	2.44×10^3	2.63×10^3
かさ密度 ρ	$10^3 \text{ Kg} / \text{m}^3$	0.2 - 0.4	
熱伝導率 λ	J / s m K	0.2	0.4

Frank-Kamenetskii 法を用いて、堆積高さに対して反応を開始させる保持温度の限界値の算出を行った結果を、図 4-32 (銚子醤油かす) と図 4-33 (銚子魚粉) に示す。

また、今回の算出にあたって、実際の堆積・貯蔵状況においては、かさ密度の変化が、反応を開始させる保持温度の限界値に対して与える影響についても検討を行った。

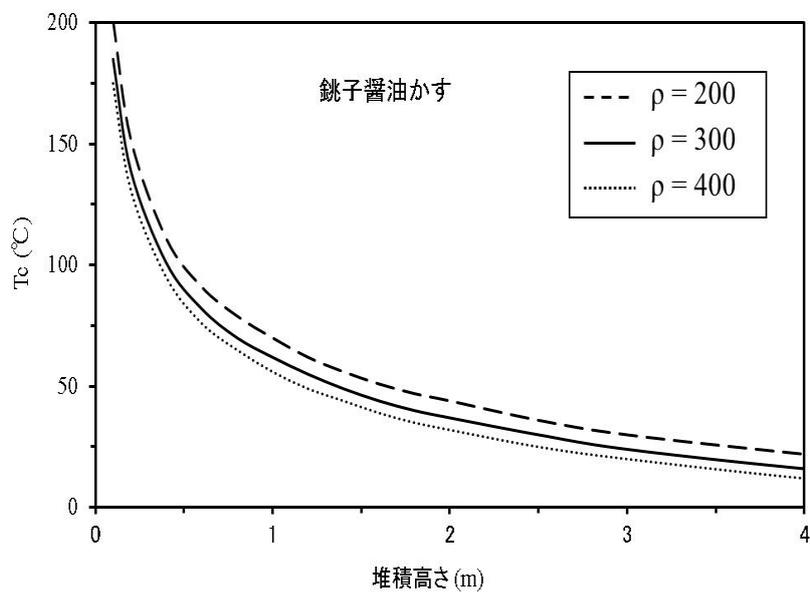


図 4-32 Frank-Kamenetskii 算出結果 (鈹子醬油かす)

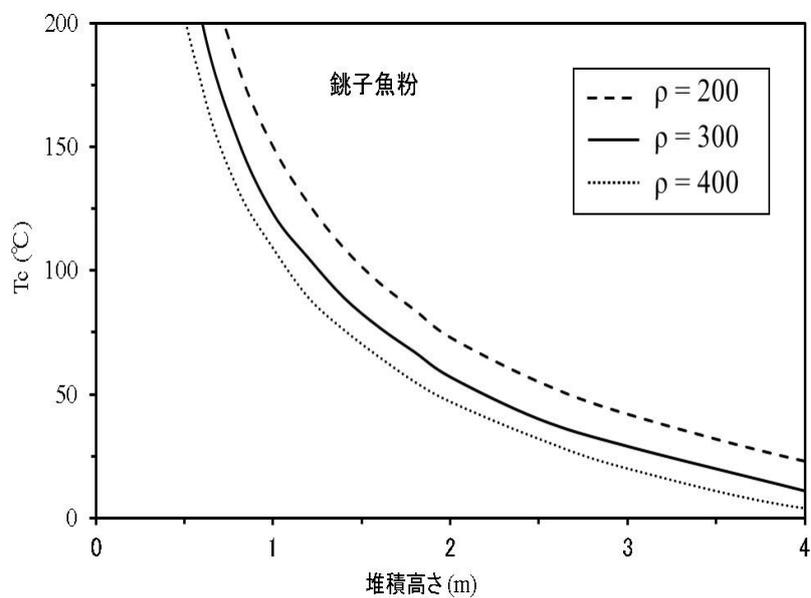


図 4-33 Frank-Kamenetskii 算出結果 (鈹子魚粉)

結果より、銚子醤油かすと銚子魚粉における、ある反応を開始させる周囲温度の限界値は、堆積高さの増加に伴い低下していく傾向がみられた。銚子醤油かすと銚子魚粉を比較してみると、銚子魚粉の方が堆積高さの増加に伴う、限界温度値の低下が大きい結果となった。

図 4-32 と図 4-33 内に示す、かさ密度の変化による結果を見てみると、銚子魚粉の方が銚子醤油かすより、かさ密度が温度の限界値と堆積高さとの関係に対して影響を与えている結果となった。

また、4-2-2で示したように銚子・苫小牧醤油かすや銚子魚粉の場合、貯蔵場所における堆積高さは、概ね3 m以上の場所が多いように思われる。

今回の算出結果を見てみると、例えば、かさ密度を $0.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ として3 m堆積させた場合、反応を開始すると想定される周囲温度の限界値は、それぞれ $20 \text{ }^\circ\text{C} \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ の間となっている。資料2と3に示すように銚子市の自然発火は、概ねこの気温で発生している。また、この数値はあくまで目安であり、様々な要因（過堆積・断熱状況・外気の流入量等）によって数値が前後することも想定される。

第3章において示したように、災害廃棄物は仮置き場等の問題もあり、堆積高さの制限は困難であるが、醤油かすや魚粉等の食品廃棄物に関するものについては、貯蔵場所における堆積高さ制限は、ある程度可能であると考えられる。

上述してきたことを踏まえて、貯蔵場所における自然発火や酸欠を防止していくためには、堆積高さにも十分配慮することが望ましい。

4-4 貯蔵場所において自然発火と酸欠を引き起こす場合の違い

今回用いた熱危険性評価手法に基づいて、醤油かすや魚粉のように発酵する可能性のある食品廃棄物が貯蔵場所において、自然発火と酸欠を引き起こす場合の違いとして、図 4-34 のように考えられる。C80 の EOG 処理を行い、測定を行った結果から考えて $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 前後までの温度領域においては、発熱や二酸化炭素の発生に対して、発酵が影響を与えている可能性が高い[64]-[65]。

また、TG-DTA、SIT、ワイヤーバスケットの結果より $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 以降の温度領域に関しては、発酵以外の脂肪酸エステル類等のものに徐々に移行していき、 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 前後で含有水分の沸騰による吸熱による壁を超えた場合には、熱分解に移行し発火に至ることが考えられる[50]-[55]。

上述してきたことから、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

することが想定されるが、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、含まれる脂肪酸エステル類の酸化に移行し[40]-[43]、さらに温度上昇後火災に至ることが想定される。

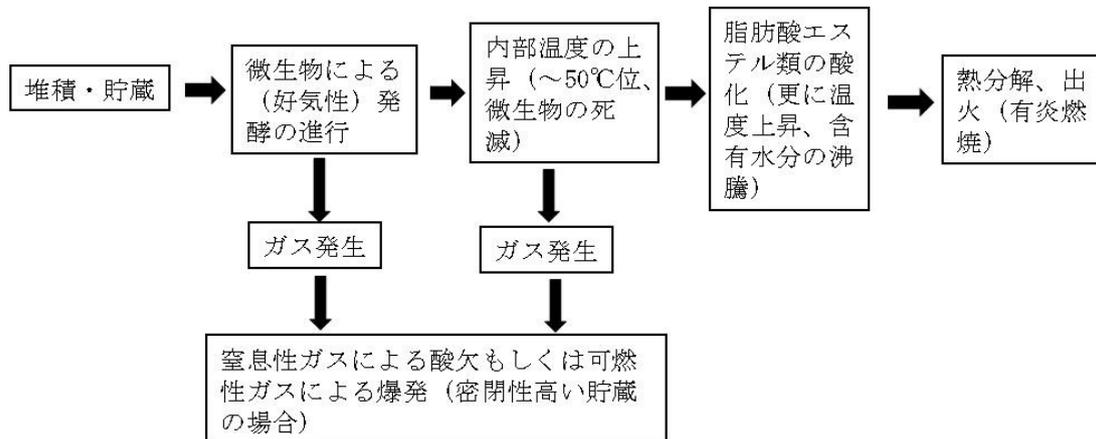


図 4-34 自然発火と酸欠を引き起こす場合の違い

また、食品廃棄物等を取り扱う施設では、汚水、汚泥、生ごみ等の多様な有機物を含むものを取り扱うことが想定される[75]。表 4-15 に示すように、それらを取り扱う過程では様々な微生物が関わってくることが想定される[76]-[77]。特に好気性の微生物によって、有機物が分解される際には、酸素を消費し、酸欠を生じさせることが考えられる。このような場所に立ち入る際には、換気を行うとともに酸素濃度の測定を行い、安全な状態であることを確かめなければならない。

法令上で定められている酸素の必要濃度は 18 % [78] であるが、「事前対策」の観点より通常の大気中の酸素濃度である 20.9 % を下回っていた場合には、換気を行う等の対策をとって作業することが望ましいと考えられる。

さらに、有機物が微生物によって分解される際には、硫化水素も発生することが想定され、酸欠を生じる多くの場所で同時に発生することが報告されている[79]-[80]。硫化水素の毒性は、きわめて強く、酸素欠乏症と同様に作業前には、濃度を測定し十分な管理をしていかなければならないと考えられる。

表 4-15 微生物と生息環境

ストレス	限界値		微生物	生息場所
温度	上限	85 ~ 93 °C	細菌、ランソウ	温泉、火山、産業廃棄物
		73 °C	ランソウ	准肥
	下限	- 18 °C	細菌、菌類、藻類	南極塩水池、北極、 山上氷雪
		0 °C	細菌、菌類	海水、冷凍食品
水圧	上限	1400 気圧	細菌	深海底
乾燥	乾燥湿潤繰り返し 長期乾燥		細菌、放線菌、菌類	土壌中
			細菌、放線菌	砂漠
浸透圧	上限	飽和食塩	細菌、緑藻	塩水池、死海、塩蔵品
		12 %の食塩	酵母	醤油、味噌
		20 ~ 25 %の糖液	酵母、菌類	蜂蜜、シロップ、 乾燥果実
	下限	ほぼ蒸留水	細菌、藻類、 原生生物	河川、淡水湖、蒸留水
PH	上限	10 ~ 13	細菌、藻類	塩基性湖、産業廃水
	下限	2以下	細菌、藻類	鉱山酸性廃水、酸性泉、 産業廃水

4-5 熱危険性評価手法により得られた結果のまとめ

今回用いた、醤油かすや魚粉のような発酵する可能性のある食品廃棄物等は、貯蔵場所において、管理が徹底されていなかった場合、自然発火や酸欠を引き起こす可能性が高く、安全管理を十分行わなければならないという結果となった。以下にまとめを示す。

- 1) 銚子醤油かすと銚子魚粉のヨウ素価は、それぞれ 107 g/100 g と 115 g/100 g となり、半乾性油の値（ヨウ素価：100 ～ 130）の範囲内となった。また、銚子醤油かすの方が含有水分が多く、銚子魚粉の方が含有油分が多い結果となった。
- 2) TG-DTA の結果より、銚子・苫小牧醤油かすの方が銚子魚粉より、発熱反応が激しい結果となった。また、銚子醤油かすと苫小牧醤油かすの測定結果より、熱挙動や熱分解開始温度に関しては、両者共にほぼ同じ傾向が観測された。
- 3) C80 の EOG 処理を行った試料の測定結果より、銚子・苫小牧醤油かすに関しては、測定開始直後から 50 °C 近辺にかけて現れる発熱は、発酵が関与している可能性が高い。また、銚子魚粉に関しては、含有油分の測定結果と合わせて考えても、含まれる脂肪酸エステル類の影響が強いと考えられる。
- 4) SIT 測定の結果より、ほぼ同じ周囲温度で保持を行ったと仮定しても、銚子醤油かすの方が、発熱後温度上昇に至る時間は短い結果となった。また、銚子醤油かす・銚子魚粉いずれも、周囲温度 40 °C 前後で保持を行った場合、約 30 時間で 250 °C まで温度上昇がみられた。このことより、真夏や残暑の時期には、自然発火に対して注意を払わなければならないことが考えられる。
- 5) ワイヤーバスケット測定と燃焼熱量測定の結果より、銚子醤油かすの方が一度熱分解を開始すると、急激な温度上昇がみられ、観測された最大の温度値も銚子魚粉より高い結果となった。また、銚子・苫小牧醤油かすと銚子魚粉は、既存の再生資源燃料とほぼ同等の値を示す結果となった。

- 6) GC 測定の結果より、銚子・苫小牧醤油かすの場合、25 °C以下の貯蔵であっても、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。また、銚子魚粉に関しては、25 °C未満の温度領域では、身体にすぐに影響を及ぼす量まで、酸素濃度の低下は見られなかったが、25 °C以上で密栓保持した場合の各結果からは、酸素濃度の急激な低下が見られたものもあった。
- 7) 数値計算を用いた推定結果より、貯蔵場所における自然発火や酸欠を防止していくためには、堆積高さにも配慮することが望ましいと考えられる。
- 8) 自然発火と酸欠に至る場合の違いとして、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、含まれる脂肪酸エステル類の酸化に移行し、さらに温度上昇後火災に至ることが考えられる。
- 9) 安全対策として、作業員に小型のガス検知器を携帯させ、貯蔵量が多い場合には、特に入庫時と出庫時のガス濃度の記録をとることが望ましい。また、酸欠事故を防止し、作業員の健康を守るためにも、外部から貯蔵場所の酸素濃度が目視できる、酸素濃度計の設置を行い、貯蔵場所に立ち入る前には、内部を換気して安全確認を行ってから入ることが望ましいと考えられる。

4-6 今後の課題

食品廃棄物の再資源化は、比較的新しい試みであるがゆえに、予期していなかった自然発火や酸欠を含む事故を発生させてしまう可能性が高い。食品廃棄物等を有効に利用していくためには、排出者の側に高い関心や意識がなければ、食品廃棄物等の受け入れを行い処理する事業者側での自然発火や酸欠等の事故を含めた、事故の本質的な低減には繋がっていかない。

そのため、排出者と受け入れを行い処理する事業者側との双方の連携が必須であり、いかにお互いの理解を得るためのネットワークを構築していくかが重要である。今回、熱危険性評価手法により得られたデータに基づいて、自然発火や酸欠を防止するための様々な安全対策の立案を行った。

C80の結果より、50℃～80℃の温度領域において現れる発熱は、含まれる脂肪酸エステル類によるものと推定したが、さらに明らかとしていかなければならない。また、GCの結果からは、25℃以下の貯蔵であっても、酸欠に至る可能性があることを明らかとできたが、酸素消費速度と貯蔵場所の面積等も視野に入れた総合的なシミュレーションの検討も重要となってくる。

参考文献

- [1] 末松広行編, “解説食品リサイクル法”, 大成出版社 (2008)
- [2] 山形県鶴岡市, <http://www.city.tsuruoka.lg.jp/> 2013年5月
- [3] 札幌市リサイクルセンター, <http://www.city.sapporo.jp/seiso/gomi/chikuri.html>
2013年5月
- [4] 平塚市湘南ぴゅあ, <http://www.pureham.com/> 2013年5月
- [5] イオン株式会社, <http://www.aeon.info/environment/environment/reuse.html>
2013年5月
- [6] 富沢慶秀, “飽食時代の道徳”, 公評 44(11) pp.36-39 (2007)
- [7] 紙谷貢, “飢餓と飽食”, 資源テクノロジー 61 (314) pp.22-37 (2009)
- [8] 牛久保明邦, “食品産業廃棄物の実態と再資源化”, いんだすと 12(12) pp.23-26
(1997)
- [9] 山岡峻, “食品廃棄物の再資源化システム”, 地球環境レポート (10) pp.82-84 (2005)
- [10] 板谷勉, 斎藤直己, “食品廃棄物からの水素・メタン回収”, 全国環境研会誌 33(1)
pp.35-41 (2008)
- [11] C.P. Beistle, “Spontaneous Heating and ignition in transportation by railroad”,
NFPA and US Dept. of Agriculture, pp. 40-45 (1929)
- [12] P.H. Thomas and P.C. Bowes, “Power, Some aspects of the self-heating and
ignition of solid cellulosic Materials”, Journal of Applied Physics, 12 (5), pp.
222-229 (1961)

- [13] H. P. Rothbaum, "Spontaneous combustion of hay", *Journal of Applied Chemistry*, 13, pp.291-302 (1963)
- [14] P.C. Bowes, "Application of the theory of thermal explosion to the self-heating and ignition of organic materials", *Fire Research Note* 867 (1971)
- [15] 平野敏右著, "燃烧学", pp.96-102 (2005)
- [16] 古積博, 岩田雄策, 桃田道彦, "動物性飼料の自然発火に関する研究報告書消防研究技術資料第 58 号", 独立行政法人消防研究所 (2003)
- [17] 森山浩光, 柴田政人, 福本裕二, "飼料・肥料原料となる肉骨粉類等の製造方法と利用(1)", *畜産の研究* 58(12) pp.1263-1276 (2004)
- [18] 森山浩光, 普照英治, 加藤泰久, "飼料・肥料原料となる肉骨粉類等の製造方法と利用(2)", *畜産の研究* 59(1) pp.165-180 (2005)
- [19] 山内一也, 吉川泰弘, "日本における牛海綿状脳症 (BSE) 安全対策", *The journal of veterinary medical science* 69(1) pp.1-6 (2007)
- [20] 草間豊子, "牛海綿状脳症の発生防止対策における飼料の動物由来たん白質等のモニタリング結果", *飼料研究報告* 34 pp.112-126 (2009)
- [21] 銚子市, <http://www.city.choshi.chiba.jp/> 2013 年 5 月
- [22] 船造俊孝, 内田珠理, 廣瀬直子, 影井清一郎, "爆砕操作による醤油搾り粕の資源化处理 温水抽出との比較", *Environmental science* 14(4) pp.359-365 (2001)
- [23] 川上岳彦, 稲垣開生, 後藤逸男, "醤油かすを原料とする有機質肥料の開発", *日本土壤肥料学会講演要旨集* (50), pp.149 (2004)
- [24] 日本水産油脂協会, "2007 年水産油脂統計年鑑", pp.24 (2008)
- [25] 山本剛史, "養殖用飼料における植物性原料の利用性とその改善に関する研究", *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 76(3) pp.344-347 (2010)
- [26] 災害情報センター, <http://www.adic.waseda.ac.jp/> 2013 年 5 月
- [27] 本澤清治, "シクロプロペン脂肪酸による「豚肉の食の危険性と BSE (牛海綿状脳症) 異常プリオン誕生の生化学的可能性」", *畜産の研究* 65(3) pp.365-368 (2011)
- [28] 吉川春寿, "呼吸と酸素欠乏症", *呼吸と循環* 1(1) pp.24-30 (1953)
- [29] 宮本忍, "酸素欠乏の症状", *麻酔* 3(2) pp.135-137 (1954)
- [30] 北海道新聞, 2010 年 11 月 28 日 朝刊
- [31] 植村誠次, 山家義人, "エチレンオキサイドおよびプロピレンオキサイドによる気相滅菌試験", *日本林學會誌* 43(3) pp.11 (1961)
- [32] E H Gillespie, J M Jackson, and G R Owen, "Ethylene oxide sterilisation--is it safe?", *Journal of Clinical Pathology*, 32 pp.1184-1187 (1979)

- [33] 沖川正善, 西谷篤彦, “医療器具のエチレンオキサイドガス滅菌に関する研究”, 病院薬学 10(2), pp.143, (1984)
- [34] 猪原昭彦, 三浦義正, “エチレンオキサイドガス (EOG) 滅菌の実際と問題点”, 産業医科大学雑誌 9(1), pp.113 (1987)
- [35] 東京消防庁, “新火災調査教本第4巻”, 東京防災指導協会 pp.6-7 (2007)
- [36] 菊野進一, 村瀬行信, 丸銭詔司, 岡本実, “ウィイス法によるヨウ素価測定について”, 油化学 24(12) pp.876-878 (1975)
- [37] 日本油化学会編, “第四版 油化学便覧 脂質・界面活性剤”, 丸善 pp.322-337 (2001)
- [38] 越野正義著, “詳解肥料分析法第2改訂版”, 養賢堂 pp.20~23 (1988)
- [39] 飼料分析基準研究会編, “飼料分析法・解説”, 独立行政法人農林水産消費安全技術センター pp.37-39 (2009)
- [40] X.R, Li., H, Koseki. and M, Momota, “Evaluation of danger from fermentation-induced spontaneous ignition of wood chips”, Journal of Hazardous Materials, 135(1-3): pp.15-20. (2006)
- [41] 幡手英雄, 吉田勇人, 田中竜介, “不飽和脂肪酸エステルの自動酸化および各種酸化生成物のトリプシン活性に及ぼす影響”, 水産大学校研究報告 43(1), pp.7-12 (1994)
- [42] 森尻宏, “等温マイクロカロリーメータを用いた自然発火物質の測定手法について”, 第52回全国消防技術者会議資料 pp.37-42 (2004)
- [43] 駒宮功額, “大量堆積有機物の自然発火”, セイフティダイジェスト 50(12) pp.30-38 (2004)
- [44] G. D. Miller Kinetic, “Kinetic parameters from self-heating measurements on exothermic solid-state reactions”, Thermochimica Acta, Vol.34 Issue 2 pp. 357-363 (1979)
- [45] P. Nordon, “A model for the self-heating reaction of coal and char”, Fuel Vol.58 Issue 6 pp.456-464 (1979)
- [46] J.C. Jones, S. C. Raj, “The self-heating and ignition of vegetation debris”, Fuel, Vol.67, Issue 9 pp.1208-1210 (1988)
- [47] 琴寄崇, “自然発火試験装置を用いて熱発火限界温度を算出する試み”, 安全工学 20(1), pp.9-15 (1981)
- [48] T, Kotoyori, “Critical Ignition Temperature of Wood Sawdust Layers”, Industrial Safety Institute Report 85(4), pp.33-44 (1985)

- [49] T. Yoshida. "Safety of Reactive chemicals", Elsevier Science, pp.197-200 (1995)
- [50] 南享二, 河村喜美恵, 大島永義, "木材炭化に関する研究(第 18 報): 木材セルロースの熱分解", 本林學會誌 40(2) pp.68-79 (1958)
- [51] 須賀操平, "セルロース, ビニル重合体および石炭類の熱天秤による熱分解", 燃料協会誌 44(456), pp.228-237 (1965)
- [52] 稲垣訓宏, "セルロースフェニルホスフェートの熱分解", 工業化学雑誌 74(7), pp.1411-1415 (1971)
- [53] J. Rychlý, L. Matisová-Rychlá, M. Lazár, K. Slovák, M. Strlič, D. Kočar, J. Kolar, "Thermal oxidation of cellulose investigated by chemiluminescence. The effect of water at temperatures above 100 °C Carbohydrate Polymers", Vol.58, Issue 3 pp. 301-309 (2004)
- [54] S. Gaan, P. Rupper, V. Salimova, M. Heuberger, S. Rabe, F. Vogel, "Thermal decomposition and burning behavior of cellulose treated with ethyl ester phosphoramidates: Effect of alkyl substituent on nitrogen atom", Polymer Degradation and Stability, Vol.94, Issue 7 pp.1125-1134 (2009)
- [55] S. Iwamoto, W. Kai, T. Isogai, T. Saito, A. Isogai, T. Iwata, "Comparison study of TEMPO-analogous compounds on oxidation efficiency of wood cellulose for preparation of cellulose nanofibrils", Polymer Degradation and Stability, Vol.95 Issue 8 pp. 1394-1398 (2010)
- [56] The United Nations, "Recommendations on the Transport of Dangerous Goods", Manual of Tests and Criteria, 4th edition, (2003)
- [57] 日本機械学会, "熱力学", 丸善 pp. 105-110 (2002)
- [58] 熊谷金次郎, 太田定吉, "醤油粕燃焼ボイラ-の実稼動例省エネルギー", 35(4) pp.70-74 (1983)
- [59] 山下正夫, 塩田収, 松原保仁, "香川県食品試験場研究報告", (84) pp.43-48 (1991)
- [60] 白井文夫, 國井勝之, 蓮井重徳, 只野貴光, 中山重徳, "カラムを用いる醤油粕脱塩方法の検討", Journal of the Brewing Society of Japan 92(7) pp.529-534 (1997)
- [61] 牧野義雄, 白川武志, "醤油粕脱塩時に排出される洗浄液の性状", 香川県食品試験場研究報告 (90) pp.17-21 (1997)
- [62] 古積博, 岩田雄策, 桃田道彦, "再生資源燃料等の危険性評価に関する研究報告書消防研究技術資料第 79 号", 消防庁消防大学校 消防研究センター (2007)
- [63] 和田攻編, "産業保健マニュアル", 南山堂 pp.202-203 (2006)

- [64] R K Thauer, K Jungermann, and K Decker, “Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria”, *Bacteriological Reviews* 41 (1) pp.100-180 (1977)
- [65] Q. Wang, J.-Y. Narita, W. Xie, Y. Ohsumi, K. Kusano, Y. Shirai and H. Ogawa, “Effects of anaerobic/aerobic incubation and storage temperature on preservation and deodorization of kitchen garbage”, *Bioresource Technology* 84 (3) pp. 213-220 (2002)
- [66] N.N. Semenov, “Theories of Combustion Process”, *Journal of Physik* 48 (1928)
- [67] D.A Frank–Kamenetskii’s, “Diffusion and Heat Transfer in Chemical kinetics”, pp.374 (1969)
- [68] J.C. Jones, “Calculation of the Frank–Kamenetskii critical parameter for a cubic reactant shape from experimental results on bituminous coals”, *Fuel* Vol.78 Issue 1 pp.89-91 (1999)
- [69] W. Gill, A.B. Donaldson, A.R. Shouman, “The Frank-Kamenetskii problem revisited. Part I. Boundary conditions of first kind”, *Combustion and Flame*, Vol.36 pp.217-232 (1979)
- [70] W. Gill, A.R. Shouman, A.B. Donaldson, “The Frank-Kamenetskii problem revisited, part II: Gradient boundary conditions”, *Combustion and Flame* Vol.41, pp.99-105 (1981)
- [71] W. Gill, A.R. Shouman, A.B. Donaldson, “The Frank-Kamenetskii problem revisited, part III: The moving flame front”, *Combustion and Flame* Vol.55 Issue 1 pp.105-115 (1984)
- [72] ピーター・ウィリアム・アトキンス, “物理化学 (下) 第 8 版”, 東京化学同人 pp.829-835 (2009)
- [73] 村田敏, 田川彰男, 石橋貞人, “DSC による穀物の比熱測定”, *農業機械学会誌* 49(6), pp.547-554 (1987)
- [74] 上井勲, “熱線法による固体の熱伝導率の測定”, *旭硝子工業技術奨励会研究報告* (13) pp.363-375 (1968)
- [75] 恵谷浩, “家庭系生ごみ・事業系食品廃棄物などの利用可能量と再資源化による環境負荷の低減”, *食品工業* 54(4) pp.76-85 (2011)
- [76] 鮫島暁子, 藤田芳和, 山内博利, “食品廃棄物のリサイクルに適した微生物群の開発研究”, *宮崎県工業技術センター 研究報告* (48) pp.5-8, (2003)

- [77] 鮫島暁子, 友行眞美子, 藤田芳和, “食品廃棄物のリサイクルに適した微生物群の研究”, 宮崎県工業技術センター 研究報告 (49) pp.5-8, (2004)
- [78] 中央労働災害防止協会編, “酸素欠乏危険作業主任者テキスト”, (2013)
- [79] 磯部満夫, “酸欠空気と硫化水素の危険性”, セイフティ ダイジェスト 46(9) pp.1-13 (2000)
- [80] 青柳幹治, “酸欠・硫化水素中毒の発生状況と対策のポイント”, 安全と健康 62(6) pp.547-550 (2011)

第 5 章

熱危険性評価手法を用いた再生資源燃料の 自然発火に関する研究

5-1 緒論

5-1-1 地球温暖化の抑制と再生資源燃料を利用した発電

地球温暖化は、持続可能な循環型社会を構築していく上で、今後も大きな課題となってくることが想定される。1972年にローマクラブが「成長の限界」を発表して以降、地球温暖化に対して様々な取組が行われてきている[1]。日本では、1997年の京都議定書の採択以降、表5-1に示す内容を基盤として様々な取組が行われてきている[2]-[4]。

表 5-1 京都議定書数値目標

項目	概要
対象ガス	二酸化炭素、メタン、亜酸化窒素、 代替フロン、6フッ化硫黄
基準とする年度	1990年（代替フロン、6フッ化硫黄に関しては1995年）
目標期間	2008年～2012年
削減目標	<ul style="list-style-type: none">・EU（ヨーロッパ連合）：8%削減・アメリカ：7%削減・日本 カナダ等：8%削減・ニュージーランド ロシア ウクライナ：0%削減・オーストラリア：8%増加

特に日本は、高度経済成長期に社会発展を進めるとともに、世界有数の化石燃料消費国となってきているように思われる。また、日本は化石燃料を含むエネルギー資源の大半を海外からの輸入に依存しており、地球温暖化の抑制も視野に入れたエネルギーの供給や発電方式等の開拓が求められてきている[5]-[7]。

そこで、循環型社会の構築を視野に入れた新たな発電方式の1つとして、廃棄物を再生資源燃料化し、それによって行う発電方式が注目を集めてきている[8]-[11]。特に、廃棄物を「固形燃料化」したものに関しては、取扱いが比較的容易であり、貯蔵場所の敷

地面積の縮小や長期保存等が可能となるため、様々な場所で使用できることが想定される[12]-[13]。固形タイプの再生資源燃料の有名なものの1つとして、ごみ固形化燃料(RDF : Refuse Derived Fuel)が挙げられる。

RDF (Refuse Derived Fuel) は、「ごみから製造された燃料」を意味し、アメリカでは7種類(表5-3)に分類されている[14]。日本でRDFと呼ばれるものは、固形タイプ(図5-1)のものであり、その性状はJIS Z 7302で定められている[15]。

日本におけるRDF (Refuse Derived Fuel) は家庭から排出される一般廃棄物を主原料として製造されており、プラスチックを主原料としたRPF (Refuse Paper & Plastic Fuel)とは区別されている[15]。

表5-2 アメリカにおけるRDFの分類

タイプ	形態	概要
タイプ1	固体	粗大物を除いただけの都市ごみ
タイプ2		15 cm の径を通過するものが95%以上の都市ごみ
タイプ3		5 cm の径を通過するものが95%以上の都市ごみ
タイプ4		2 mm の径を通過するものが95%以上の都市ごみ
タイプ5		ペレット状に成形された都市ごみ
タイプ6	液体	液体燃料化されたもの
タイプ7	気体	気体燃料化されたもの



図 5-1 日本における RDF

5-2 ごみ固形化燃料製造施設で発生する自然発火

RDF (Refuse Derived Fuel) を利用した発電方式は、日常生活から排出される廃棄物の処理と、新たなエネルギー源の確保の両側面を満たせる可能性が高く、その普及が期待されていたが、2003年8月に三重県桑名郡多度町にある、三重ごみ固形化燃料発電所において、RDF から自然発火と思われる火災が発生し、消火活動中に爆発が起こり（図 5-2）、消防隊員 2 名が殉職するという大事故が発生した[16]。

事故発生時の詳細を資料 6 に示す。事故後、消防庁において学識経験者、消防機関等の委員で構成される「ごみ固形燃料等関係施設の安全対策調査検討会」が設立され各種検討が行われた。その結果、発酵等で発熱が起こり、その過程で可燃性ガスが発生し、サイロ内に充満して爆発に至った可能性が高い、ということが明らかにされた[16]。

三重ごみ固形化燃料発電所での事故を機として、2004年7月9日に危険物の規制に関する政令が改正され、指定可燃物に再生資源燃料が指定された（図 5-3）[17]。

指定可燃物とは、危険性の程度は一般的には危険物より低いものであるが、万一火災が発生した場合にはその拡大が速やかであるか、又は消火活動が著しく困難になるものである。翌年の 2005 年 12 月 1 日には、市町村条例が改正され、再生資源燃料を 1000 kg 以上貯蔵し又は取り扱おうとする者は、消防長（消防署長）への届け出が課せられることとなった。さらに、貯蔵や取扱い並びに位置・構造および設備の技術上の基準も定められた[17]。



図 5-2 三重ごみ固形化燃料発電所 (2003 年 8 月)

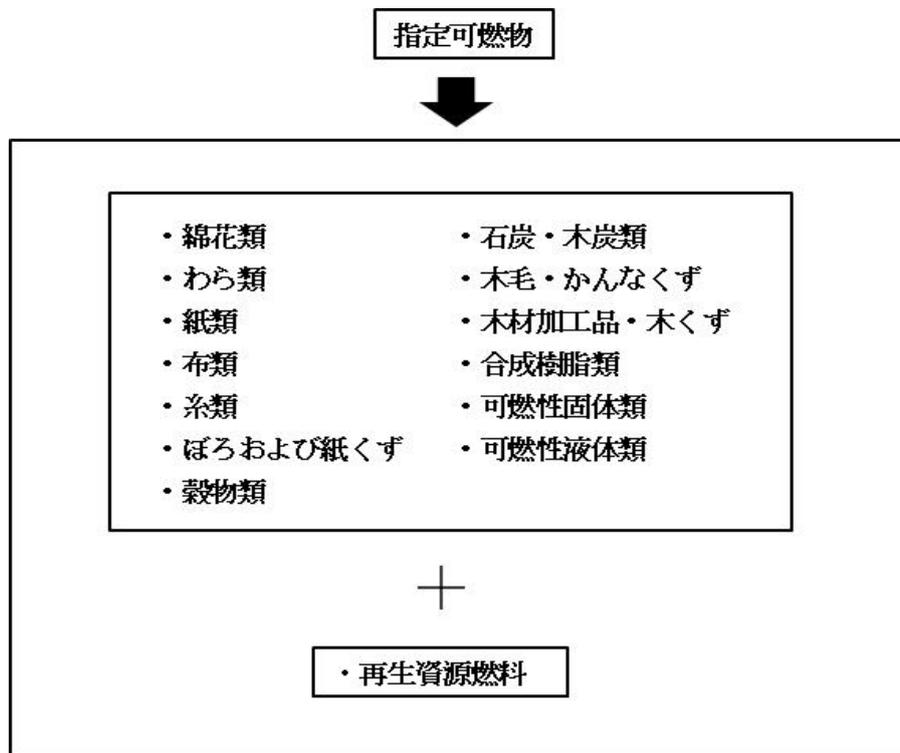


図 5-3 改正後の指定可燃物一覧

また、RDF (Refuse Derived Fuel) に関わる事故がどの程度発生しているのかを、火災等に関わるものを主として、2003 年の三重県の事故発生以前までを対象として、調査を行ってみると、表 5-3 のような結果であった[18]。また、日本以外でも同じ時期に同様の事故が発生しているということが報告されている[19]。

表 5-3 の結果より、三重ごみ固形化燃料発電所での事故以前にも、死傷者が出ていなかったということだけで、日本各地で自然発火等の事故が発生していたことがわかった。

事故情報や失敗情報の共有化は、危機管理・リスク管理を基盤とした安全対策を行っていく上で欠かせないものである。もし、1996 年の時点から RDF (Refuse Derived Fuel) に関わるヒヤリハット等の事例を関係各所が集約し、それを基にした安全対策を行っていたのであれば、全体の事故件数の低減につながり、2003 年の事故も未然に防ぐことができた可能性もあったのではないかと思われる。

表 5-3 RDF 関係施設で発生した火災等の事故

施設名	都道府県	月日	概要
プラスチック 固形燃料化施設	埼玉県	1996 年 8 月	原料の廃プラから 原因不明の出火
富良野市リサイクルセンター 農業廃棄物処理施設	北海道	1998 年	保管ヤードの RDF に、 炭化物が混入し白煙発生
奥利根アメニティーパーク 固形燃料化施設	群馬県	1998 年 3 月	乾燥機内部で火災発生
常総環境センター 廃プラスチック 固形燃料化施設	茨城県	1999 年 1 月	保管ヤードの RDF から 出火
御殿場・小山 RDF センター	静岡県	1999 年 5 月	乾燥機内部の RDF より 出火
広域鹿島 RDF センター	茨城県	2001 年 5 月	集塵機より出火

宍粟環境美化センター	兵庫県	2001年 7月	乾燥機内より出火
クリーンセンター響	山口県	2001年 9月	成形品の RDF より出火
札幌市ごみ資源化工場	北海道	2002年 3月	破砕時に火種が生じ出火
クリーンセンター四万十	高知県	2002年 4月	冷却機内の RDF より 白煙を生じる
荏田エコプラント	福岡県	2002年 6月	成形機内部より出火
リユースなぎ	和歌山県	2002年 6月	排気用ダクト内で出火
		2002年 9月	排気用ダクト内で出火
リバーセンター	滋賀県	2002年 11月	冷却機内の RDF より出火
カルストクリーンセンター	山口県	2002年 11月	製造ラインが停止し、 異常発熱がみられた
稲葉町ほか3ヶ町 衛生施設組合 ごみ燃料化センター	福岡県	2002年 11月	成形機内で火種が生じ、 フィルタより出火
さくらリサイクルセンター	三重県	2002年 12月	過乾燥による出火
府中市クリーンセンター	広島県	2002年 12月	冷却機内の RDF より出火
桑名広域清掃事業組合 資源循環センター	三重県	2002年 12月	排出部より発煙
富良野市リサイクルセンター 農業廃棄物処理施設	北海道	2003年	成形機内から白煙を生じる
ななかりサイクルセンター	石川県	2003年 3月	成形中に発熱

クリーンパークわかすぎ	福岡県	2003年 4月	空運転で加熱された原料が炭化し出火
さくらリサイクルセンター	三重県	2003年 4月	冷却機内より出火
ごみ固形燃料化施設 (くらじクリーンセンター)	福岡県	2003年 4月	冷却機内より白煙を生じる
河北郡クリーンセンター	石川県	2003年 4月	ダクト内で異常加熱
宍粟環境美化センター	兵庫県	2003年 7月	冷却機内より出火
中播北部行政センター	兵庫県	2003年 8月	過乾燥による出火

5-3 熱危険性評価手法を用いた再生資源燃料の危険性評価

地球温暖化対策や循環型社会の構築を視野に入れ、日々新たな再生資源燃料や発電方式等の開発が各地で行われてきているように思われる。その中でも、特に廃棄物から製造されている再生資源燃料に関しては、微生物が繁殖する可能性が高く、十分な危険性の評価や、長期的な貯蔵等を視野に入れた安全対策を考慮しなかった場合には、5-2で示した RDF (Refuse Derived Fuel) のように、発酵による自然発火[20]-[24]を起因とした事故を起こす可能性が高いことが想定される。

そこで、今後日本国内で導入が予定されている、数種類の新規開発された再生資源燃料を対象として、第2章で示した熱危険性評価手法を用いて、貯蔵時における危険性等の検討を行った。また、日本では、再生資源燃料に対する相対的な危険性の評価手法が確立されていないため、熱危険性評価手法より得られた値を指標として、相対的な危険性評価手法の検討を試みた。

さらに、得られた総合的な結果より、第6章において、今後再生資源燃料を普及させていく上で、自然発火に起因する事故等にどう対処し、どのような普及方法が望ましいかといった観点から、事前対策の立案をすることも目的とした。

5-3-1 検討に用いた再生資源燃料

今回、熱危険性評価手法の対象とした試料を図 5-4 ~ 図 5-9 に示す。木質ペレットは木材を粉砕し、圧縮成型されたものであり、ストーブ（家庭用・業務用）の燃料として用いられている[25]-[27]。今回は、樹皮部分から製造されたものと幹部分から製造されたもの 2 種類を用いた。

下水汚泥燃料は、浄水場や工場等の排水プロセスから大量に排出される汚泥を燃料化したものであり、下水汚泥処理費の低減が期待されている[28]-[30]。

鶏糞燃料は、養鶏場から排出される鶏糞を燃料化したものであり、一部の養鶏場では鶏糞燃料を用いて発電を行い、鶏舎の床暖房として使用している[31]-[32]。

ヤシ殻燃料は、セッケンや食用油の製造に用いた後のアブラヤシの残渣から製造されている[33]-[34]。稲わらペレットは、東日本大震災の風評被害等により出荷できなくなってしまった稲わらをペレット状にしたものである。



図 5-4 木質ペレット（樹皮）



図 5-5 木質ペレット（幹）



図 5-6 下水汚泥燃料



図 5-7 鶏糞燃料



図 5-8 ヤシ殻燃料



図 5-9 稲わらペレット

5-3-2 熱分解開始温度と含有水分量の検討 (TG-DTA)

昇温速度を 2 K/min とした場合の結果を、図 5-10 ～ 図 5-15 に示す。今回の最大昇温値は、急激な反応による温度上昇を防ぐため 500 °C までとした。グラフの横軸は、試料の温度を示し、縦軸は TG (重量減少率) と DTA (熱流束) を示す。DTA 曲線のピークは、下向きが吸熱反応を示し、上向きが発熱反応を示す。また、100 °C での重量減少と熱分解開始温度をまとめたものを、表 5-4 に示す。熱分解開始温度は、DTA 曲線が安定したベースラインより、0.1 μ V (約 0.01 K) 発熱方向へシフトした温度を読み取った。

熱分解開始温度は、鶏糞燃料が最も低く 135.9 °C であったが、他の試料に関しては、概ね 180 °C ～ 200 °C 前後の間となった。

この近辺まで温度上昇した場合、熱分解を開始して温度上昇後、火災に至る可能性が考えられる。鶏糞燃料は 100 °C での重量減量率が最も高く、今回の試料の中で最も含有水分量が高い結果となった。この理由として、鶏糞燃料の原料となる鶏糞は、鶏舎からそのままの状態を受け入れている場合が多く、乾燥処理はされていないということが挙げられる[31]-[32]。

ある物質が発酵に至るには、微生物の有無と適度な水分と、微生物が繁殖するための栄養源と酸素が重要な要素として挙げられる。鶏糞燃料には大量の微生物と、微生物が活動するための適度な栄養源が含まれている可能性が高いことが想定される[35]-[38]。

鶏糞燃料の場合、酸素が十分存在し、かつ大量に貯蔵されており、断熱状態がよい場合には、発酵によって温度が上昇し、含まれる有機物の熱分解に移行し、さらに温度上昇後[39]-[42]、火災に至る可能性が他の試料より高いと思われる。

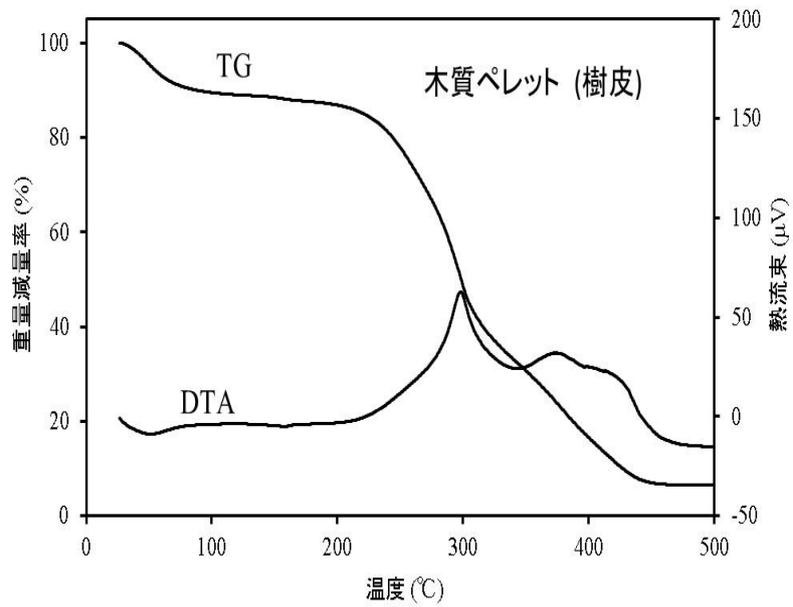


図 5-10 木質ペレット (樹皮) TG-DTA 結果 (2 K/min)

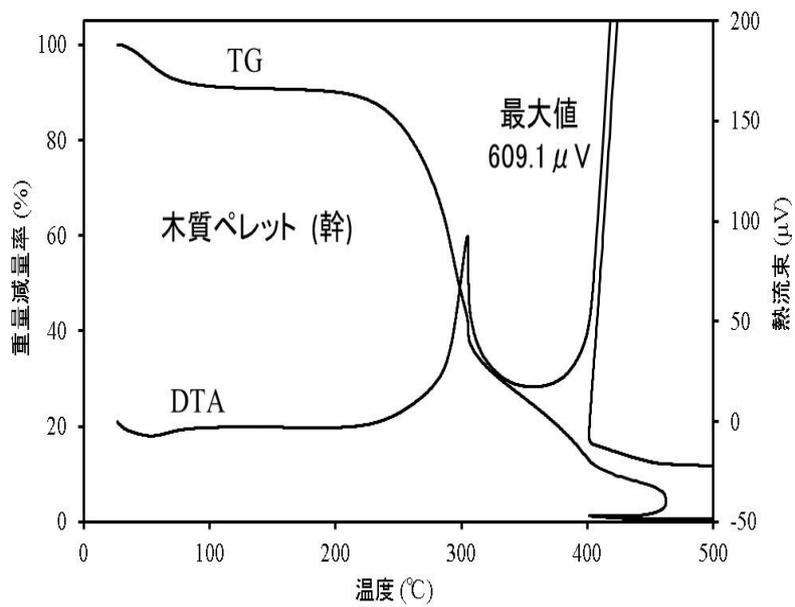


図 5-11 木質ペレット (幹) TG-DTA 結果 (2 K/min)

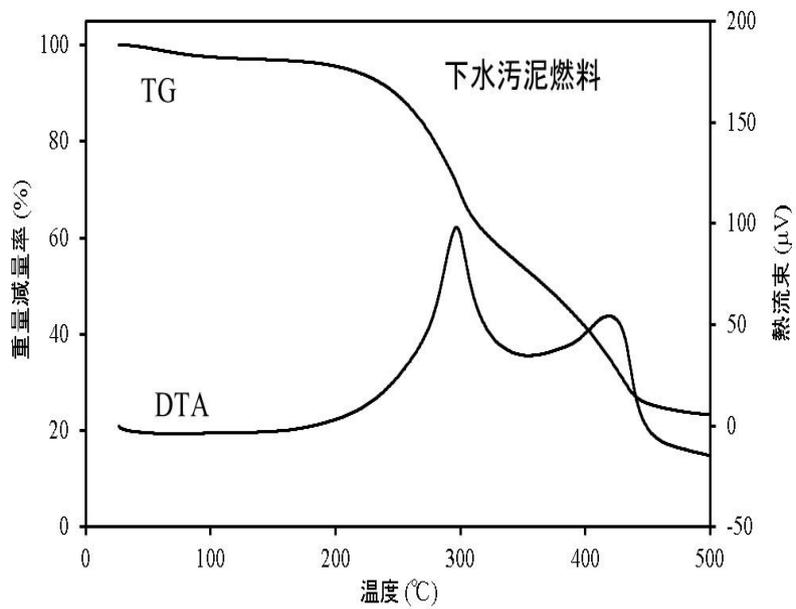


图 5-12 下水污泥燃料 TG-DTA 结果 (2 K/min)

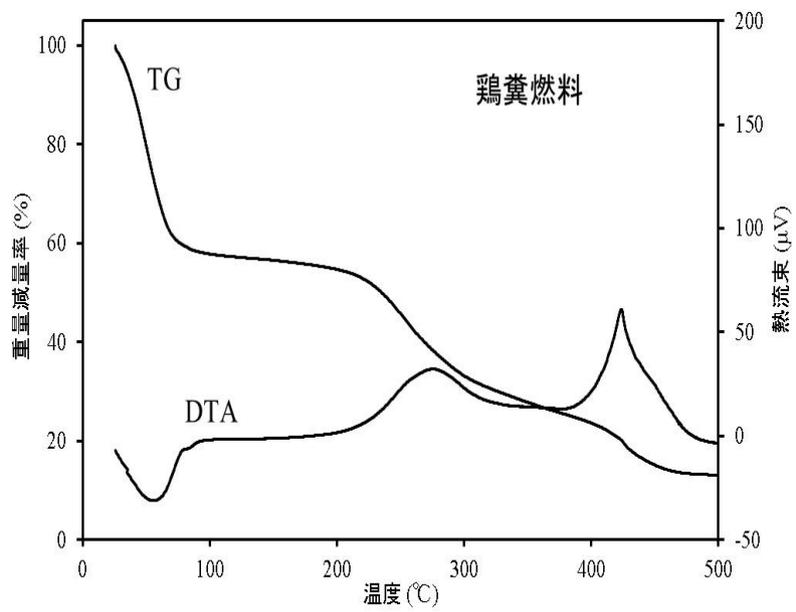


图 5-13 鷄糞燃料 TG-DTA 结果 (2 K/min)

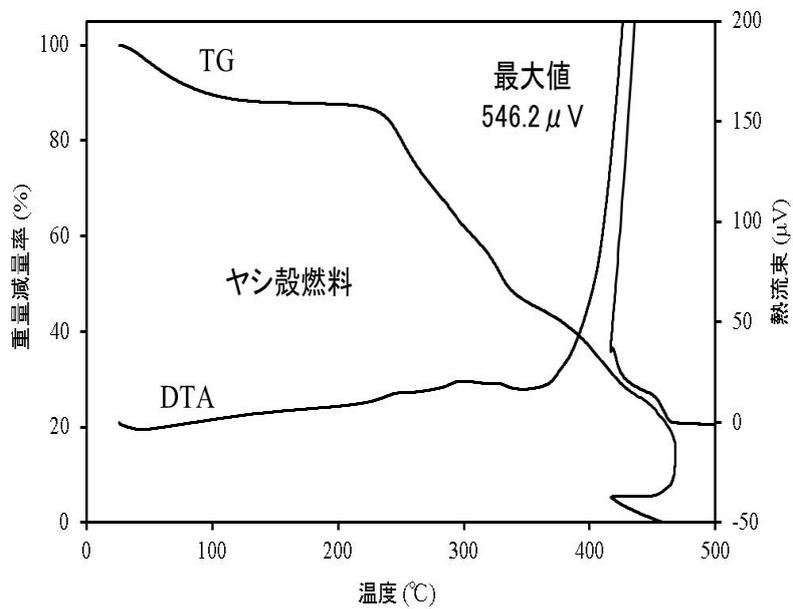


図 5-14 ヤシ殻燃料 TG-DTA 結果 (2 K/min)

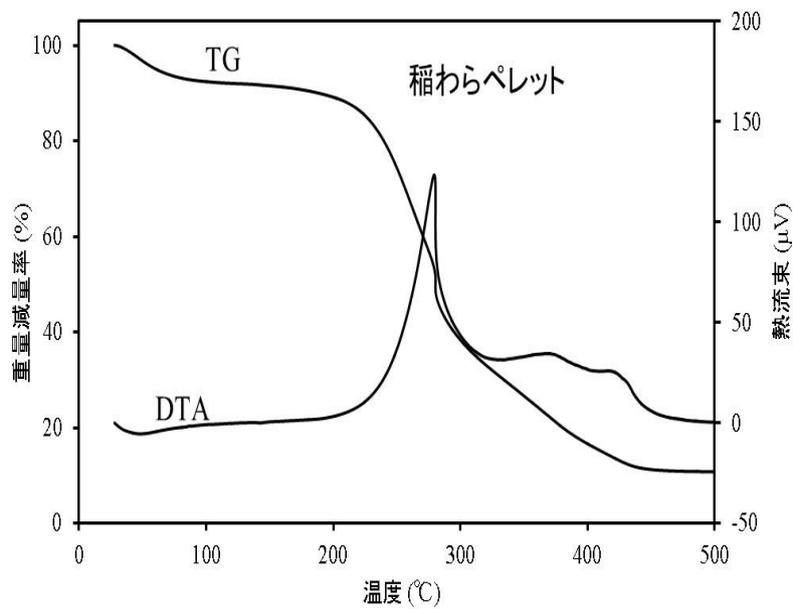


図 5-15 稲わらペレット TG-DTA 結果 (2 K/min)

表 5-4 TG-DTA 結果

試料名	100 °Cでの減量率 (%)	熱分解開始温度 (°C)
木質ペレット(樹皮)	10.5	188.4
木質ペレット(幹)	8.7	198.1
下水汚泥燃料	4.4	185.6
鶏糞燃料	41.4	135.9
ヤシ殻燃料	9.4	181.5
稲わらペレット	8.1	186.4

5-3-3 室温付近からの熱挙動の検討 (C80)

昇温速度を 0.1 K/min とした場合の結果を、図 5-16 ~ 図 5-21 に示す。また、発熱開始温度をまとめたものを表 5-5 に示す。今回の発熱開始温度は、ベースラインより 0.005 mW 発熱方向へシフトし始める最初の温度を読み取った。

結果を比較してみると、水分を添加してから測定を行った場合、いずれの試料でも発熱開始温度の低下が見られた。また、いずれの試料も 80 °C以降 ~ 100 °Cの温度領域では、含まれる脂肪酸エステル等の発熱と考えられる発熱が観測された[43]-[47]。それ以降の温度領域では、有機物の熱分解によるものと思われる発熱が観測された[39]-[42]。

水分添加してから測定を行った下水汚泥燃料と鶏糞燃料からは、測定開始直後 (25 °C 前後) から発酵と考えられる発熱の開始がみられた。下水汚泥燃料と鶏糞燃料は、30 °C 未満の温度でも発熱する可能性が高く、蓄熱しやすい環境で貯蔵した場合、温度上昇後火災に至る可能性が高いと思われる。

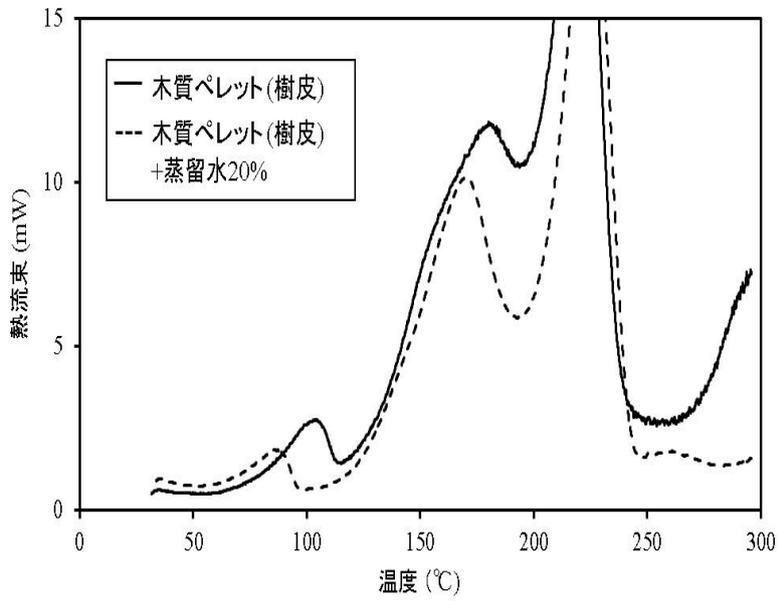


図 5-16 木質ペレット (樹皮) C80 結果 (0.1 K/min)

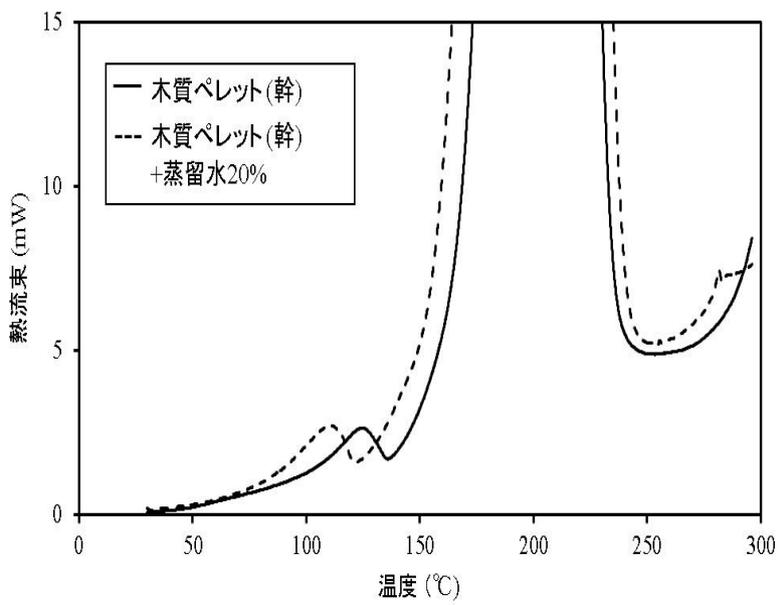


図 5-17 木質ペレット (幹) C80 結果 (0.1 K/min)

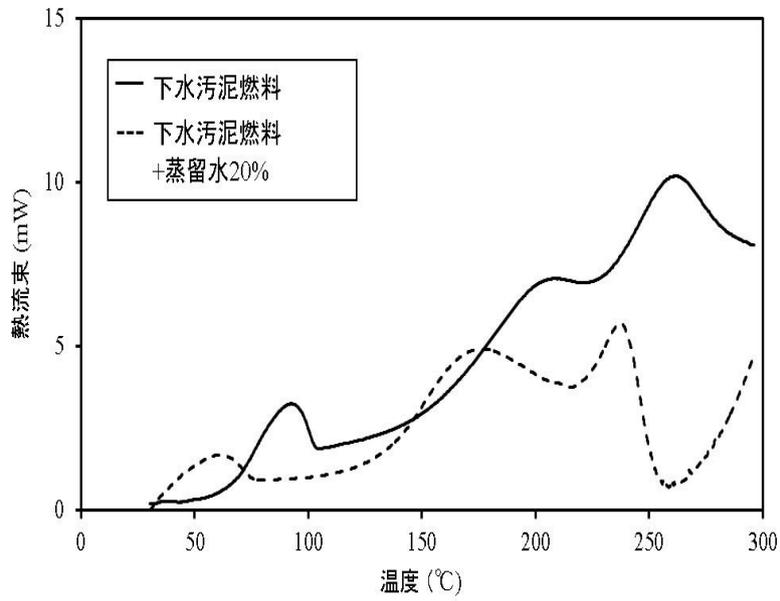


图 5-18 下水污泥燃料 C80 結果 (0.1 K/min)

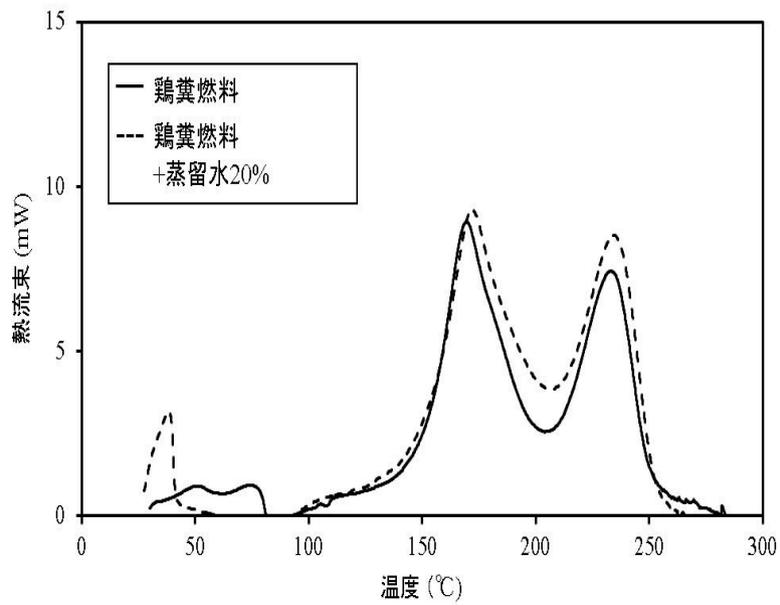


图 5-19 鷄糞燃料 C80 結果 (0.1 K/min)

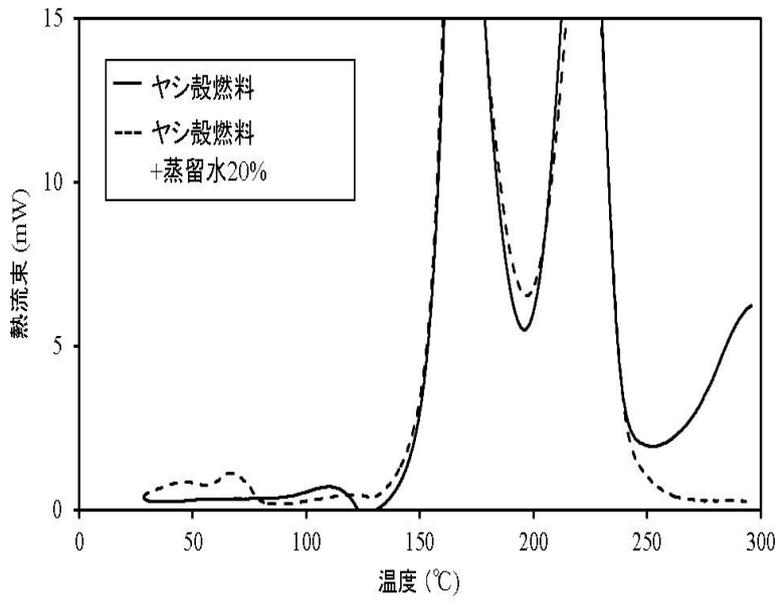


図 5-20 ヤシ殻燃料 C80 結果 (0.1 K/min)

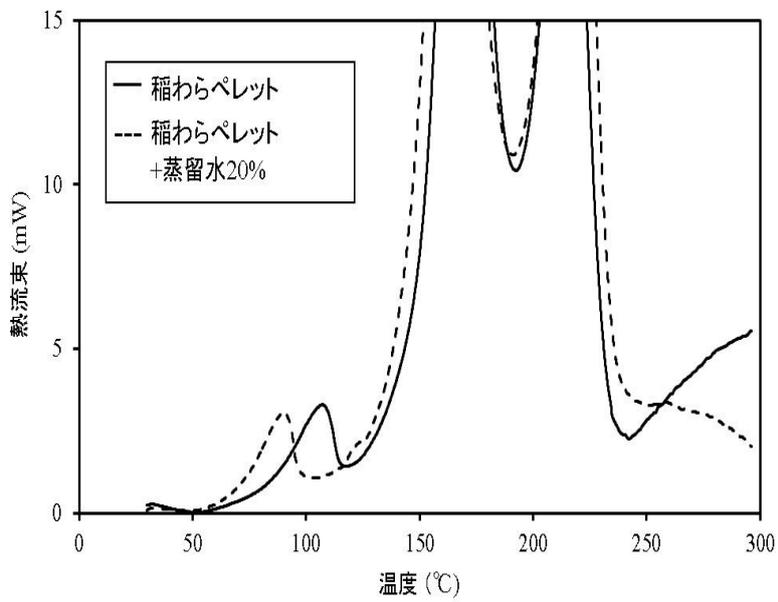


図 5-21 稲わらペレット C80 結果 (0.1 K/min)

表 5-5 C80 結果

試料名	発熱開始温度 (°C)
木質ペレット (樹皮)	59.3
木質ペレット (樹皮) + 蒸留水 20 %	48.3
木質ペレット (幹)	64.3
木質ペレット (幹) + 蒸留水 20 %	56.2
下水汚泥燃料	42.1
下水汚泥燃料 + 蒸留水 20 %	26.3
鶏糞燃料	28.5
鶏糞燃料 + 蒸留水 20 %	26.1
ヤシ殻燃料	90.7
ヤシ殻燃料 + 蒸留水 20 %	26.3
稲わらペレット	52.3
稲わらペレット + 蒸留水 20 %	48.5

5-3-4 発酵による熱挙動の検討 (TAM)

TAM を 50 °C に設定して測定を行った結果を、図 5-22 ~ 図 5-27 に示す。また、発熱量をまとめたものを表 5-6 に示す。発熱量は、測定開始 24 時間後、24 時間後から 72 時間後、および両者の合計をまとめたものを示す。TAM の保持温度を 50 °C に設定したのは、約 40 °C ~ 50 °C 近辺で多くの微生物による活動が活発におこり、それ以降の温度領域においては、徐々に微生物の活動が不活性となっていくため、過去の測定データと比較が可能な 50 °C を TAM の設定温度とした[48]-[49]。

木質ペレット (樹皮) の熱挙動を見てみると、水分を添加してから測定を行った場合、測定開始直後に発熱し 24 時間後に再び発熱量が増加していくという挙動が観測された。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想定される。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、反応が不活性となっていく。木質ペレット (幹) も木質ペレット (樹皮) と同様に、水分添加した場合には、発熱量の増加が見られたが、木質ペレット (樹皮) の結果のように 2 段階の熱挙動は示さなかった。

他の試料でも同様に水分を添加することにより、発熱量の増加が見られた。鶏糞燃料は、水分添加することで発熱量が約 19 倍となった。下水汚泥燃料や鶏糞燃料の場合、廃棄物や汚物から製造されており、他の試料と比較して、大量の微生物が含まれている可能性が高く、水分を添加することにより、それらが活発に活動するようになることが想定される。

化石燃料である、石炭の安全対策として、適度な水分を含ませることが挙げられる[50]-[55]。水は、消火や防火に役立つものであると思われるが、廃棄物から製造されている再生資源燃料の場合、発酵を促進させる可能性のある適度な水分量が存在することによって、逆に発熱しやすくなり、自然発火を引き起こす危険性が高くなることが想定される[56]-[59]。

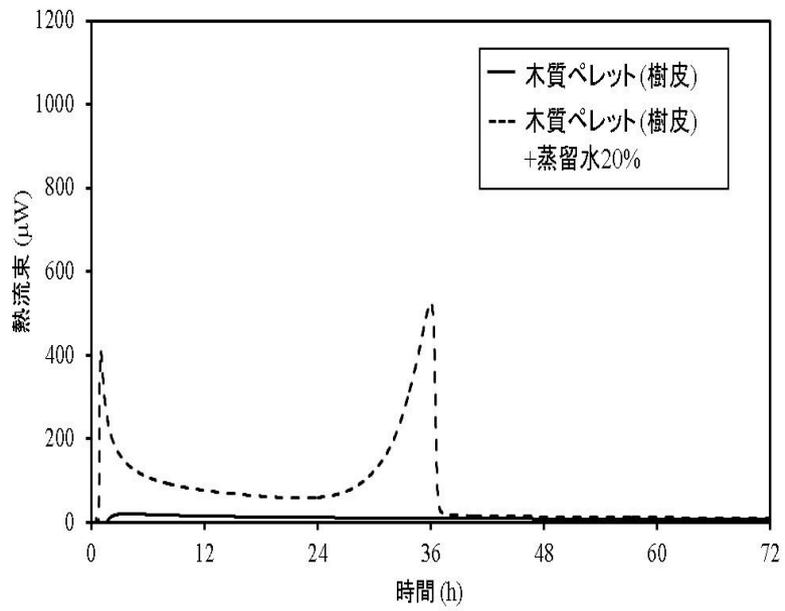


図 5-22 木質ペレット(樹皮) TAM 結果 (50 °C)

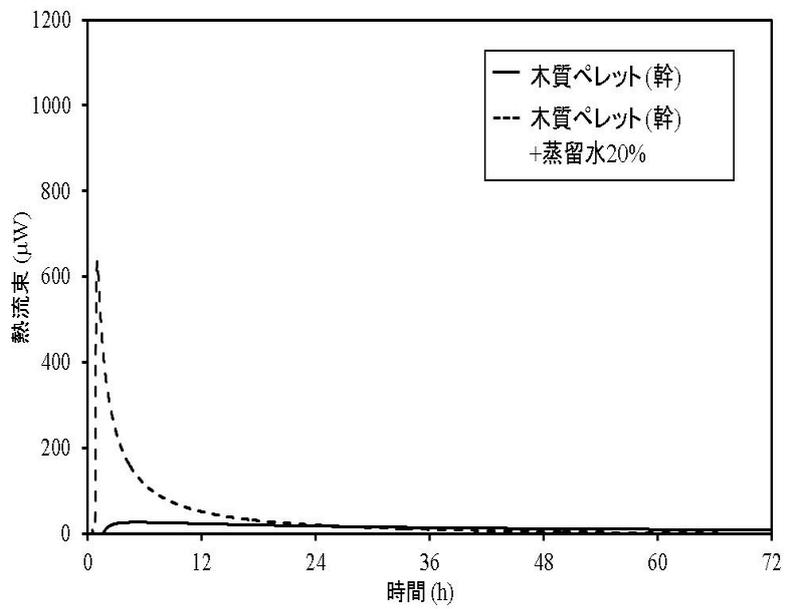


図 5-23 木質ペレット(幹) TAM 結果 (50 °C)

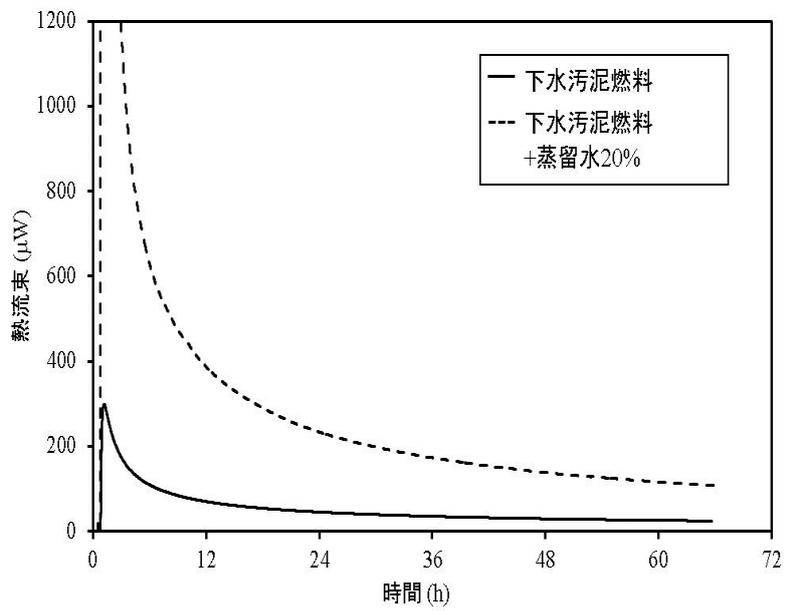


圖 5-24 下水污泥燃料 TAM 結果 (50 °C)

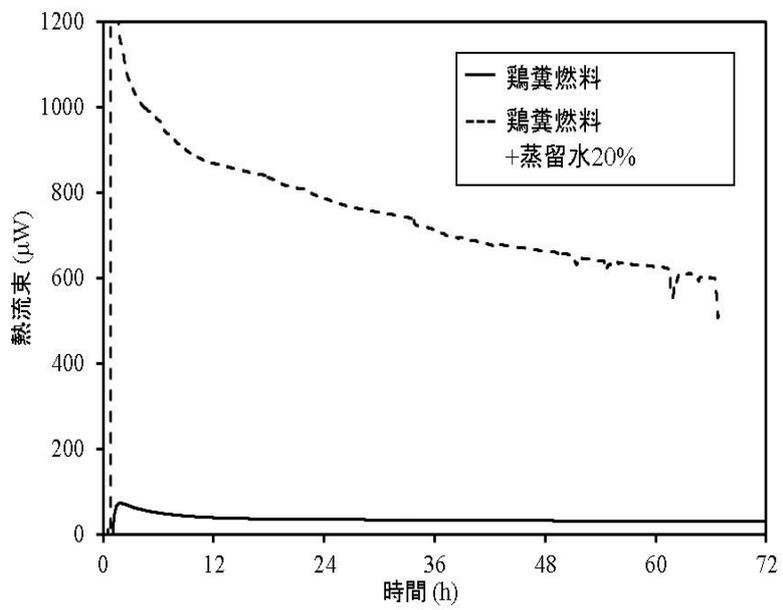


圖 5-25 雞糞燃料 TAM 結果 (50 °C)

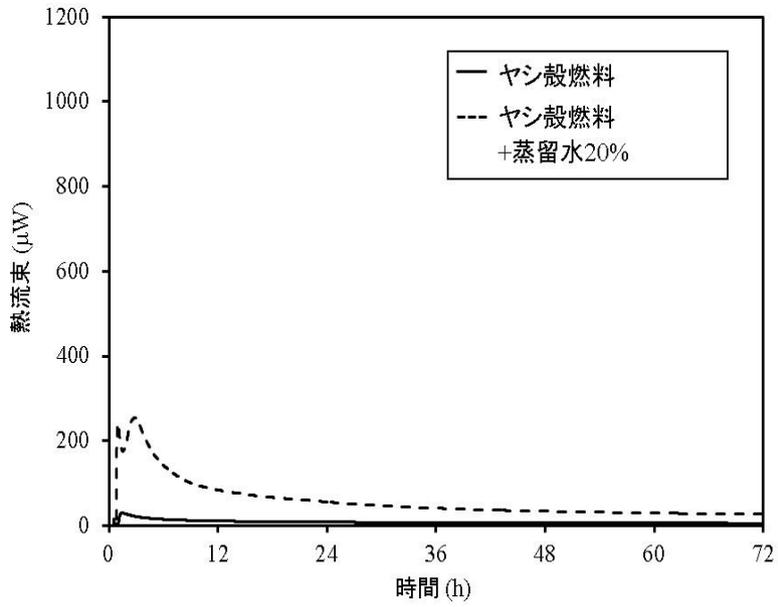


図 5-26 ヤシ殻燃料 TAM 結果 (50 °C)

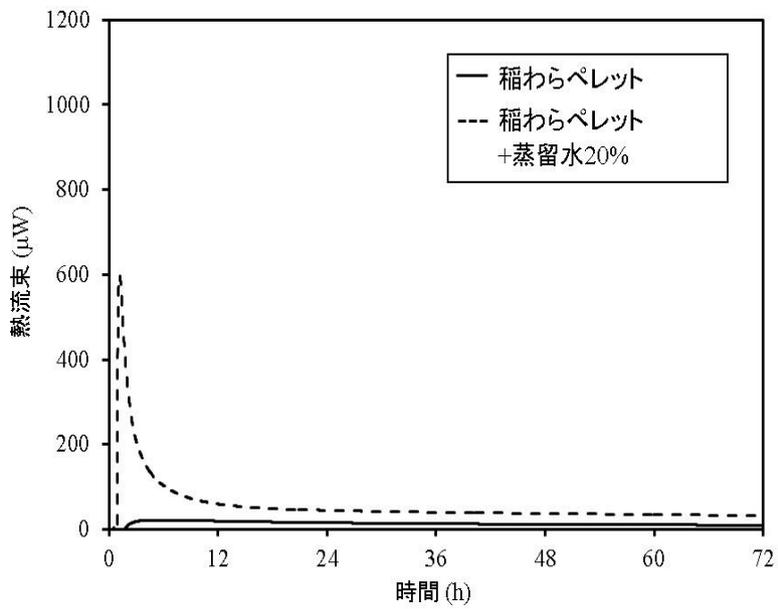


図 5-27 稲わらペレット TAM 結果 (50 °C)

表 5-6 TAM 結果

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
木質ペレット (樹皮)	1.27	1.59	2.85
木質ペレット (樹皮) +蒸留水 20 %	7.95	10.36	18.31
木質ペレット (幹)	1.74	1.96	3.71
木質ペレット (幹) +蒸留水 20 %	10.11	2.86	12.97
下水汚泥燃料	17.74	11.14 [*]	28.88 ^{**}
下水汚泥燃料 +蒸留水 20 %	35.11	8.52	43.63
鶏糞燃料	3.67	5.68	9.35
鶏糞燃料 +蒸留水 20 %	80.38	96.82 [*]	177.2 ^{**}
ヤシ殻燃料	1.06	1.00	2.07
ヤシ殻燃料 +蒸留水 20 %	8.96	6.14	15.10
稲わらペレット	1.53	2.08	3.61
稲わらペレット +蒸留水 20 %	8.24	6.58	14.82

*24-64 h **0-64 h

5-3-5 発酵によって生じるガスの検討(GC)

GC分析による結果を表5-7に示す。結果を比較してみると、水分を添加すると全ての試料において、二酸化炭素発生量の増加が見られた。水素が発生した理由として、好気性の発酵以外に嫌気性の発酵が起こっている可能性が高い[60]-[61]。

木質ペレット(樹皮)や稲わらペレットでは、水分添加することで大幅な二酸化炭素の増加が観測された。鶏糞燃料では、水分を添加しない場合とした場合、どちらにおいても、高い二酸化炭素の発生が観測された。

熱分析の結果と合わせて考えてみると、鶏糞燃料は高い含有水分量を有しており、発酵しやすい性質を有していることが考えられる。他の試料に関しては、水分含有量が10%前後であり、潜在的に微生物を有しているものもあるが、微生物が活動するための水分が足りず、通常の状態では発酵は起こりにくいことが考えられる。しかし何らかの要因で含有水分量が増加した場合には、発酵し温度上昇後自然発火に至ることが考えられる[62]-[63]。

また、木質ペレット(樹皮)と稲わらペレットは、共に水分添加後、二酸化炭素の発生量に関しては、同様の傾向が見られたが、TAMの結果では、同様の2段階の発熱傾向を示さなかった。TG-DTAの含有水分の測定結果からみれば、木質ペレット(樹皮)と稲わらペレットは、同じ量の含有水分を有している可能性が高い。これに関しては、含まれている微生物の種類によって、発熱傾向が違ふことが想定され、非常に興味深く今後も詳細に研究を進める価値があるものと思われる。

屋外において解放状態での貯蔵であれば、可燃性ガスや二酸化炭素が発生したとしても大気中へ飛散して、徐々に濃度が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高くないことが想定される。

しかし、今回のGCによる結果より、発酵する可能性のある再生資源燃料を密閉性の高いコンテナで輸送、サイロ内で長期保管する際には、火災や爆発の注意が必要となってくる。また、三重ごみ固形化燃料発電所での事故[16]を考慮しても、貯蔵場所における、水素・メタン・一酸化炭素などの可燃性ガスの発生の有無の確認は重要であると思われる。温度のモニタリング以外にガス検知管等を設置し、発生ガスの測定を行い、発酵の有無や可燃性ガス発生の有無の確認も定期的に行うことも望ましい。

表 5-7 GC 結果

試料名	保持期間	保持温度	ガス分析結果 (%)					
			O ₂	N ₂	H ₂	CO	CH ₄	CO ₂
木質ペレット(樹皮)	10日	25℃	19.55	76.97	0.0014	-	-	0.70
木質ペレット(樹皮) + 蒸留水20 %			1.37	68.87	0.014	-	-	21.67
木質ペレット(幹)			20.67	77.23	0.002	-	-	0.08
木質ペレット(幹) + 蒸留水20 %			17.88	78.53	0.0047	-	-	1.94
下水汚泥燃料			19.47	77.32	-	-	-	0.49
下水汚泥燃料 + 蒸留水20 %			17.24	76.22	-	-	-	2.29
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
ヤシ殻燃料			20.46	76.13	-	-	-	0.06
ヤシ殻燃料 + 蒸留水20 %			19.86	78.32	-	-	-	3.07
稲わらペレット			20.57	76.39	-	-	-	0.04
稲わらペレット + 蒸留水20 %			2.17	75.69	0.0031	-	-	16.93

5-3-6 危険性の相対評価

日本国内では、再生資源燃料に対する明確な危険性評価手法が確立されていないため、再生資源燃料に対する効率的で早急に危険性を把握できる手法の早期確立が望まれる [64]-[65]。今回の測定結果より、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) を指標として、相対的に危険性の評価を試みた。

この手法では、微生物発酵の進行のしやすさの観点から評価を試みている。「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とした。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 (表 5-5 参照)。

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

発熱量は TAM の 50°C での測定開始直後から 72 時間後までの合計発熱量を用いた。各試料において発熱量に関する危険性を比較するため、次のような基準に基づいて点数を設定した。点数が高いものほど発熱量が多く危険性が高い。

TAM の結果を基に設定した発熱量の点数 (表 5-6 参照)。

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

可燃性ガスの危険性については、Le Chatelier の法則を適用し求めた [66]。Le Chatelier の法則は、式 5-3 に示すように可燃性ガスの下限界濃度について定義している [67]。

$$\frac{n}{N} + \frac{n^2}{N^2} + \frac{n^3}{N^3} + \dots = 1 \dots \dots \dots (5-3)$$

式 5-3 内の分母に示される N^1 、 N^2 、 N^3 (%) は、対象とするガスの下限界濃度の理論値であり、分子に示される、 n^1 、 n^2 、 n^3 (%) は、実際に検出された対象とするガスの濃度である。

そこで、今回は、GC によって検出された各可燃性ガスの発生量を式 5-4 に示すように、それぞれの下限界濃度 (H_2 : 4.0 % CO : 12.5 % CH_4 : 5.0 %) [68]-[70]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。

$$\text{可燃性ガスの危険性} = \frac{[H_2]}{4.0\%} + \frac{[CO]}{12.5\%} + \frac{[CH_4]}{5.0\%} \dots \dots \dots (5-4)$$

GC の結果を基に設定した可燃性ガスの発生量の点数 (表 5-7 参照)

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

上記の手法により、今回用いた再生資源燃料の相対的な危険性をまとめたものを表 5-8 (水分添加無し) と表 5-9 (水分添加有り) に示す。また、表 5-8 と表 5-9 を基にして「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図 5-28 (水分添加無し) と図 5-29 (水分添加有り) 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。さらに今回は、同じ熱危険性評価手法により、測定された RDF (Refuse Derived Fuel) の値[71]も参考として用いた。

表 5-8 各試料の試算結果（水分添加無し）

試料名	熱危険性		可燃性ガス危険性
	発熱開始温度 (C80)	発熱量 (TAM)	ガス発生量 (GC)
木質ペレット (樹皮)	4	1	1
木質ペレット (幹)	3	1	1
下水汚泥燃料	4	3	1
鶏糞燃料	5	1	1
ヤシ殻燃料	2	1	1
稲わらペレット	4	1	1

表 5-9 各試料の試算結果（水分添加有り）

試料名	熱危険性		可燃性ガス危険性
	発熱開始温度 (C80)	発熱量 (TAM)	ガス発生量 (GC)
木質ペレット (樹皮) +蒸留水20 %	4	2	2
木質ペレット (幹) +蒸留水20 %	4	2	2
下水汚泥燃料 +蒸留水20 %	5	5	1
鶏糞燃料 +蒸留水20 %	5	6	3
ヤシ殻燃料 +蒸留水20 %	5	2	1
稲わらペレット +蒸留水20 %	4	2	2

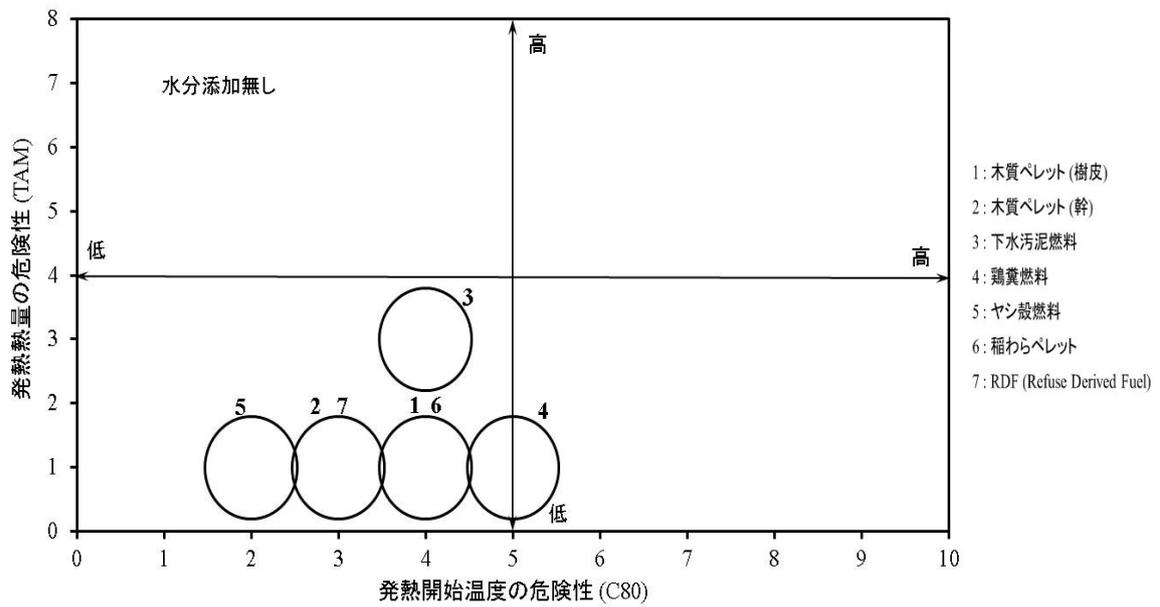


図 5-28 各試料の評価結果 (水分添加無し)

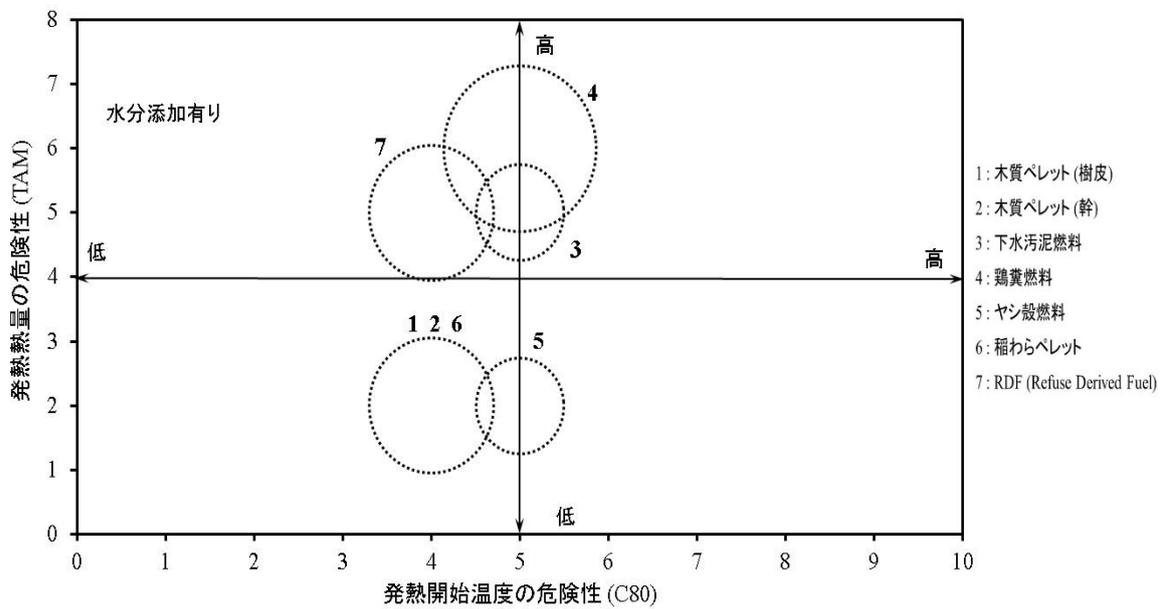


図 5-29 各試料の評価結果 (水分添加有り)

結果を比較してみると、今回測定を行った試料に関しては、水分添加を行うことで発熱開始温度の危険性、発熱量の危険性、可燃性ガス発生危険性のいずれか一つは上昇するという結果となった。総合的にみても、鶏糞燃料、下水汚泥燃料、ヤシ殻燃料は30℃以下でも発熱する可能性があり、水分が加わることで発熱量が増え可燃性ガス発生危険性も増える。他の試料に関しては、水分が加わることで発熱開始温度は低下するが、発熱量と可燃性ガス発生危険性は、鶏糞燃料や下水汚泥燃料ほど高くない。

また、RDF (Refuse Derived Fuel) の値を見てみると水分添加を行うことで鶏糞燃料や下水汚泥燃料と同様に各危険性の値が高くなった。このことから考えると、鶏糞燃料や下水汚泥燃料を実用化し、幅広く普及させようとした場合、三重ごみ固形化燃料発電所のような自然発火に起因する事故[16]を防ぐための安全対策が必要となってくる。

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、新規に開発された再生資源燃料等の危険性を効率的に把握するという点では有効であると考えられる。段階として、まず高感度な熱分析装置やガス分析装置を用いて、自然発火の引き金となりうる微小発熱や可燃性ガスの有無の確認を行う。

次に危険性の高いものに関しては、断熱性の高い状態において発生する微小発熱によって温度上昇していく可能性があるかどうかを調べる。そして、温度上昇していく可能性の高いものに関しては、試料量を多くしてより厳密に測定を行い、得られたデータから理論式を用いて、大規模条件での発火温度の推定を行う。この手法は、ミニチュアを作成し行う既存の手法[72]と比較しても有効であると思われる。

5-4 熱危険性評価手法により得られた結果のまとめ

今回用いた、廃棄物より製造された再生資源燃料は、貯蔵場所において安全管理が徹底されていなかった場合、自然発火に起因する事故を発生させる可能性が高いことがわかった。以下にまとめを示す。

- 1) TG-DTA の結果より、鶏糞燃料の熱分解開始温度は135.9℃となり、他の試料と比較して、熱分解開始温度が低い結果となった。このことより、酸素が十分存在し、かつ大量に貯蔵されており、断熱状態がよい場合には、発酵によって温度が上昇し、含まれる有機物の熱分解に移行し、さらに温度上昇後、火災に至る可能性が他の試料より高いと考えられる。

- 2) C80 の結果より、水分添加してから測定を行った場合、鶏糞燃料、下水汚泥燃料、ヤシ殻燃料からは、測定開始直後 (25 °C前後) から発酵と考えられる発熱の開始がみられた。鶏糞燃料と下水汚泥燃料は、30 °C未満の温度でも発熱する可能性が高く、蓄熱しやすい環境で貯蔵した場合、温度上昇を開始する可能性が高い結果となった。
- 3) TAM の結果より、水分を添加することにより、発熱量の増加がみられた。化石燃料である、石炭の安全対策として、適度な水分を含ませることが挙げられる。水は、消火や防火に役立つものであると思われるが、廃棄物から製造されている再生資源燃料の場合、発酵を促進させる可能性のある適度な水分量が存在することによって、逆に発熱しやすくなり、自然発火を引き起こす危険性が高くなることが考えられる。
- 4) GC の結果より、発酵する可能性のある再生資源燃料を密閉性の高いコンテナで輸送、サイロ内で長期保管する際には、火災や爆発の注意が必要となってくる。また、三重ごみ固形化燃料発電所での事故を考慮しても、貯蔵場所における、水素・メタン・一酸化炭素などの可燃性ガスの発生の有無の確認は重要であると思われる。温度のモニタリング以外にガス検知管等を設置し、発生ガスの測定を行い、発酵の有無や可燃性ガス発生の有無の確認も定期的に行うことが望ましい。
- 5) 危険性の相対評価を行った結果より、水分添加を行う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一つは上昇するという結果となった。また、RDF (Refuse Derived Fuel) の値と比較してみると、鶏糞燃料、下水汚泥燃料、ヤシ殻燃料を実用化し、幅広く普及させていく場合には、三重ごみ固形化燃料発電所のような自然発火に起因する事故を防ぐための安全対策が必要である。
- 6) 今回得られたデータを用いて、検討を行った相対評価手法には、まだ改善していかなければならない点がある。さらに精度を高め、短時間で危険性の把握ができるよう、産・官・学の連携も含め、幅広い相互関係を築いていくことが、今後特に求められてくると考えられる。

5-5 今後の課題

東日本大震災を背景とした脱原発や化石燃料の備蓄量の減少等により、今後、既存の化石燃料や原子力等による発電のみでは、電力をまかないきれない日がやってくるということが想定される。

特に、廃棄物を再生資源燃料化し、発電を行う方式に関しては、日常から排出される廃棄物処理と新たなエネルギーの確保という両面を満たせるため、重要な役割を占めてくることが考えられる。しかし、廃棄物を再生資源燃料化したものに関しては、「ごみ」であるという認識の方が強く、燃料を取り扱っているという認識に欠けるため、今後は、意識改革の向上に努めていく必要がある。

また、今回熱危険性評価手法により得られたデータを用いて、検討を行った危険性の相対評価手法には、まだ改善点があると思われる。今後はさらに精度を高め、より短時間で危険性の把握ができるよう引き続き研究を深めていかなければならない。

さらに、今回熱危険性評価手法に用いた、熱分析装置やガス分析装置等は、化学産業では幅広く普及が進んでおり[73]-[77]、熱危険性評価手法を用いた、危険性の相対評価手法を普及しようとした場合、化学産業の存在が不可欠となってくるとと思われる。これに関しては、産・官・学の連携も含めて、幅広い領域で相互に取り組んでいくことが必須である。

参考文献

- [1] ドネラ・H・メドウズ他著, “成長の限界ローマ・クラブ「人類の危機」レポート”, ダイヤモンド社 (1972)
- [2] 気候変動に関する国際連合枠組条約京都議定書, (1997)
- [3] マイケル・グラブ他著, “京都議定書の評価と意味歴史的国際合意への道”, 省エネルギーセンター (2000)
- [4] 地球温暖化対策推進本部, “京都議定書目標達成計画の全容 チーム・マイナス 6%”, 小学館クリエイティブ (2005)
- [5] 海野和二郎, “将来エネルギーと環境の物理学”, 日本物理學會誌 51(10) pp.727-733 (1996)
- [6] 佐藤由美, “化石燃料依存から脱却し持続可能な社会の実現を”, 日本共産党中央委員会 前衛 (790) pp.199-204 (2005)

- [7] 芦田讓, “化石燃料枯渇時代の見通しと課題 脱石油依存症の必要性と提唱”, 電気評論 92(11) pp.11-15 (2007)
- [8] 北見誠一, “大容量ごみ焼却炉における余熱利用(特に発電)の現状と今後の展望”, 三菱重工技報 10(5) pp.772-780 (1973)
- [9] 桑原進, “廃棄物焼却エネルギーの有効利用”, 動力 30 (150) pp.25-33 (1980)
- [10] 吉沢均, 赤田卓己, “スーパーごみ発電”, 燃料及燃焼 61(3) pp.163-171 (1994)
- [11] 湯川憲一, “廃棄物有効利用技術 I 都市ゴミ焼却発電の背景と現状について”, 防錆管理 39(8) pp.275-280 (1995)
- [12] 都市と廃棄物編集部, “ごみ固形燃料化の新時代到来へ内外の RDF 技術に大資本が参入”, 都市と廃棄物 22(2) pp.45-51 (1992)
- [13] 日比野浩, 壮野幹範, 石井昇, 四方正, 武上野信治, “ごみ固形燃料化システムと固形燃料の利用”, セメント製造技術シンポジウム報告集 52 pp.12-19 (1995)
- [14] ASME, “Refused Derived Fuel Quality Standard and Processing”, pp.49-59 (1991)
- [15] 日本規格協会編, “JIS ハンドブック 省・新エネルギー”, 日本規格協会 (2004)
- [16] 三重県ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会, “ごみ固形燃料発電所事故調査専最終報告書”, (2003)
- [17] 消防法規研究会編, “平成 25 年新版 消防基本六法”, 東京法令出版 (2013)
- [18] 環境省, “全国ごみ固形燃料に関する実態調査結果”, ごみ固形燃料適正管理検討会配布資料 (2003)
- [19] H. Persson, “Fire in a recovered waste materials fuel silo extinguished by water injection”, Brand Posten 28 pp.26-27 (2003)
- [20] C.P. Beistle, “Spontaneous Heating and ignition in transportation by railroad”, NFPA and US Dept. of Agriculture, pp. 40-45 (1929)
- [21] P.H. Thomas and P.C. Bowes, “Power, Some aspects of the self-heating and ignition of solid cellulosic Materials”, Journal of Applied Physics, 12 (5), pp. 222-229 (1961)
- [22] H. P. Rothbaum, “Spontaneous combustion of hay”, Journal of Applied Chemistry, 13, pp.291-302 (1963)
- [23] P.C. Bowes, “Application of the theory of thermal explosion to the self-heating and ignition of organic materials”, Fire Research Note 867 (1971)
- [24] 平野敏右著, “燃焼学”, pp.96-102 (2005)

- [25] 遠藤展, “木質ペレット燃料の性能と燃焼性について”, 林産試験場月報 (396), pp.11-18 (1985)
- [26] 小澤祥司, “木質ペレットとペレットストーブの基礎”, ソーラーシステム (102) pp.22-27 (2005)
- [27] 小澤雅之, “木質ペレットストーブ普及の現状と課題”, 山梨県森林総合研究所研究報告 (25) pp.129-133 (2006)
- [28] 本多淳裕, “下水汚泥およびし尿の焼却処分とその燃料的価値”, 水処理技術 4(6) pp.35-49 (1963)
- [29] 広瀬靖夫, 間裕幸, “下水汚泥の燃料化システムの提案”, 化学工学論文集 9(5) pp.583-586 (1983)
- [30] 島田正夫, “下水汚泥有効利用促進の取り組みについて”, 再生と利用 28(107) pp.48-55 (2005)
- [31] 原勉, 新宮宏昭, 椎原勝彦, 中川琢麻, 吉川邦夫, “鶏糞を用いた小規模分散型のガス化発電設備のエネルギー特性”, 日本エネルギー学会大会講演要旨集 (16) pp.162-163 (2007)
- [32] 毛利邦彦, 金田一彦弥, “東北における鶏糞発電事業化の検討とその方向性”, 動力・エネルギー技術の最前線講演論文集 pp. 387-388 (2009)
- [33] 井野辰夫, 谷口孝二, 大村嘉孝, 池田清人, 柴田泰典, 村岡利紀, “アブラヤシ空果房のボイラ燃料化研究”, 火力原子力発電 54(8) pp.916-922 (2003)
- [34] 顔碧燕, 李志東, “マレーシアにおけるパームバイオ燃料の開発に関する研究”, 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.361-364 (2007)
- [35] 大山嘉信, 榎木茂彦, “サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究-3-材料の水分含量, 詰込み密度およびサイロ内の気体の置換の影響”, 日本畜産学会報 39(4) pp.168-174 (1968)
- [36] 鈴木慎二郎, 帰山幸夫, “環境湿度と牧乾草の平衡水分および品質変化”, 日本草地学会誌 17(4) pp.250-260 (1971)
- [37] R K Thauer, K Jungermann, and K Decker, “Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria”, Bacteriological Reviews 41 (1) pp.100-180 (1977)
- [38] 木部久衛生, “稲わらの水分含量と詰込み密度がサイレージの品質ならびに二次発酵に及ぼす影響”, 日本草地学会誌 25(3) pp.246-250 (1979)
- [39] 須賀操平, “セルロース, ビニル重合体および石炭類の熱天秤による熱分解”, 燃料協会誌 44(456), pp.228-237 (1965)

- [40] 稲垣訓宏, “セルロースフェニルホスフェートの熱分解”, 工業化学雑誌 74(7), pp.1411-1415 (1971)
- [41] J. Rychlý, L. Matisová-Rychlá, M. Lazár, K. Slovák, M. Strlič, D. Kočar, J. Kolar , “Thermal oxidation of cellulose investigated by chemiluminescence. The effect of water at temperatures above 100 °C Carbohydrate Polymers”, Vol.58, Issue 3 pp. 301-309 (2004)
- [42] S. Gaan, P. Rupper, V. Salimova, M. Heuberger, S. Rabe, F. Vogel, “ Thermal decomposition and burning behavior of cellulose treated with ethyl ester phosphoramidates: Effect of alkyl substituent on nitrogen atom”, Polymer Degradation and Stability, Vol.94, Issue 7 pp.1125-1134 (2009)
- [43] X.R, Li., H, Koseki. and M, Momota, “Evaluation of danger from fermentation-induced spontaneous ignition of wood chips”, Journal of Hazardous Materials, 135(1-3): pp.15-20. (2006)
- [44] 幡手英雄, 吉田勇人, 田中竜介, “不飽和脂肪酸エステルの自動酸化および各種酸化生成物のトリプシン活性に及ぼす影響”, 水産大学校研究報告 43(1), pp.7-12 (1994)
- [45] 山北尋巳, “化学発光法による高分子の劣化評価”, 化学工業 42(11), pp.864-869 (1991)
- [46] 森尻宏, “等温マイクロカロリメータを用いた自然発火物質の測定手法について”, 第 52 回全国消防技術者会議資料 pp.37-42 (2004)
- [47] 駒宮功額, “大量堆積有機物の自然発火”, セイフティダイジェスト 50(12) pp.30-38 (2004)
- [48] B.F. Gray and G.C. Wake, “The ignition of hygroscopic combustible materials by water”, Combustion and Flame, 79 (1) pp.2-6 (1990)
- [49] N, Murasawa, H, Koseki, Y, Iwata, Y, Shibata, “Determination of Spontaneous Ignition of SSSR and Fish meal during Transport and Storage”, Journal of Food Research Vol.1pp.320-329 (2012)
- [50] 大沼有伍, “石炭の燃焼に於ける水分の影響”, 技術会誌 6(3) pp.3-5 (1952)
- [51] 田代襄, “石炭の着火温度,自然発火所要時間と水分の関係 抗内石炭の自然発火におよぼす水分の影響”, 日本鉱業会誌 87(996) pp.161-166 (1971)
- [52] K.K. Bhattacharryya, “The role of sorption of water in the spontaneous heating of coal”, Fuel, 50 (4) pp.367-380 (1971)

- [53] 高桑功, “石炭の自然発火に関する研究-5-石炭の炭素,灰分および水分含有量と着火温度”, 採鉱と保安 24(2) pp.65-69 (1978)
- [54] J.C. Jones and M. Vais, “Factors influencing spontaneous heating of low-rank coals”, *Journal of Hazardous Materials*, 26 (2) pp.203-212 (1991)
- [55] H. Wang, B.Z. Dlugogorski and E.M. Kennedy, “Analysis of the mechanism of the low-temperature oxidation of coal”, *Combustion and Flame* 134 (1-2) pp.107-117 (2003)
- [56] I.K. Walker, “The role water in spontaneous combustion of solid”, *Fire research Abstract and Review*, 9 (1) pp.5-22 (1977)
- [57] H.B. Vuthaluru, “Investigations into the pyrolytic behavior of coal/biomass blends using thermogravimetric analysis”, *Bioresource Technology* 92 (2) pp. 187-195 (2004)
- [58] 佐野寛, “バイオマス燃料と水分”, 月刊水 48(12) pp.14-18 (2006)
- [59] 明田大吾, “バイオマス燃料の安全対策”, 水環境学会誌 32(2) pp.73-76 (2009)
- [60] 園田頼和, “メタン発酵による有機系廃棄物の処理と燃料ガス生産”, 発酵と工業 34(4), pp.248-257 (1976)
- [61] R K Thauer, K Jungermann, and K Decker, “Energy conservation in chemotrophic anaerobic bacteria”, *Bacteriological Reviews* 41 (1) pp.100-180 (1977)
- [62] Y. Ueno, H. Fukui and M. Goto, “Operation of a Two-Stage Fermentation Process Producing Hydrogen and Methane from Organic Waste”, *Environ. Sci. Technol.*, 41 (4) 1413 -1419 (2007)
- [63] H. Yokoyama, M. Waki, A. Ogino, H. Ohmori and Y. Tanaka, “Hydrogen fermentation properties of undiluted cow dung”, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 104 (1) pp.82-85 (2007)
- [64] 古積博, 岩田雄策, 桃田道彦, “再生資源燃料等の危険性評価に関する研究報告書消防研究技術資料第 79 号”, 消防庁消防大学校 消防研究センター (2007)
- [65] 岩田雄策, “再生資源燃料の熱的危険性とその評価方法”, *セイフティエンジニアリング* 39(1) pp.21-25 (2012)
- [66] H. Le Chatelier, “Estimation of firedamp by flammability limits”, *Annals of Mines*, 19 (8) pp.388–395 (1891)
- [67] L.A. Medrard, “Flammability limits of explosive gaseous mixtures”, *Accidental Explosions Vol.1 physical and chemical properties* pp. 163-173 (1987)

- [68] H.F. Coward, G.W. Jones, “Limits of Flammability of Gases and Vapours”, Bureau of Mines (1965)
- [69] M.G. Zabetakis, “Flammability Characteristics of Combustible Gases and Vapours”, Bureau of Mines (1965)
- [70] National Fire protect Association, “Fire Hazard Properties of Flammable Liquids”, Gases and Volatile Solids (1977)
- [71] Z.-M. Fu, X.-R. Li and H. Koseki, “Heat generation of refuse derived fuel with water”, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 18 (1) 27-33 (2005)
- [72] J. Barton and R. Rogers, “Chemical reaction hazards, second edition”, Institution of Chemical Engineers (1997)
- [73] 森崎繁, 駒宮巧額, 内藤道夫, “反応性物質の熱安定性に関する研究－熱分析及び断熱測定”, 産業安全研究所 特別研究報告 (1983)
- [74] 森崎繁, 安藤隆之, “化学物質の熱危険性の解析と予測”, 産業安全研究所安全資料 (1988)
- [75] 三宅淳巳監, “化学プロセスの熱的リスク評価”, 丸善 (2011)
- [76] 新井充他著, “実践・安全工学 物質安全の基礎”, 化学工業日報社 (2012)
- [77] 田村昌三, “化学プロセス安全ハンドブック”, 朝倉書店 (2012)

第6章

災害対応や循環型社会構築を視野に入れ災害廃棄物・再生資源物品等を扱っていく上での危機管理・リスク管理に対する
提言

6-1 東日本大震災で生じた災害廃棄物と広域災害に対する事前対策

東日本大震災で特に被害の大きかった、東北地方の被災地において、宮城県名取市消防本部や行政担当者と数回に分けて合同で現地調査を行った。現地調査を行った過程において、様々な危機管理・リスク管理の不備を感じた。そこで、今後発生する可能性のある南海トラフに沿う地震や首都直下型地震等を想定し、第3章の熱危険性評価手法による災害廃棄物の研究を通して得られた知見や結果を取り入れ、講じていくべきである「事前対策」を示す。

6-1-1 広域災害に対する関心の高まりと発生の推移

最近特に、広域災害時における危機管理・リスク管理の重要性が問われてきているのではないかと考えられる。1959年に愛知県、岐阜県、三重県および紀伊半島一帯を中心として全国に大きな被害をもたらした伊勢湾台風を契機に制定された、災害対策基本法では、「災害とは、暴風、豪雨、豪雪、洪水、高潮、地震、津波、噴火、その他の異常な自然現象によって生ずる被害、又は、大規模な火災若しくは爆発等、その他その及ぼす被害の程度に応じて、これらに類する政令で定める原因により生ずる被害」と定義されている[1]。ここでいう災害は、単に自然現象（天災）だけでなく、人為的な原因（人災）によって生じたものも含まれている。表6-1にそれらを分類したものを示す[2]。

表 6-1 災害の分類

＜ 自然災害(天災) ＞	
気象災害	風災、降雨災害、雪害、酷寒災害、霜害、雷害
地変災害	震害、火山災害、地滑り災害
動物災害	病原菌、虫害、鳥害、貝害、獣害
＜ 人為災害(人災) ＞	
都市公害	大気汚染、水質汚濁、騒音、振動、地盤沈下、火災
産業災害	工場災害、鉱山災害、土建現場災害、職業病、労働災害、放射線災害
交通災害	陸上交通災害、飛行機事故、船舶災害
戦争災害	戦争による災害全般
管理災害	怠慢による災害、施工の劣悪による災害、予報の間違いによる災害

第1章において、「危機」には避けられるものと、避けることが困難なものが存在することが報告されている[3]-[9]と述べたが、特に自然災害は、避けることが困難な危機であると考えられる。自然災害は避けることが困難ではあるが、その発生と引き起こされる危機を「事前」に想定し、備えることにより、発生した際の影響を少なくすることは可能であると思われる。

また特に、1990年代以降、自然災害の発生件数が年々増加してきている。表6-2は、理科年表[10]に掲載されている1920年～1990年までの主な自然災害を集計したものである。1990年代においては、台風・水害・その他の自然災害ともに過去最大の発生件数を示している。

表 6-2 自然災害の推移

年代	台風	大雨	その他 ^{注1}	小計	地震 ^{注2}	合計
1920	1	0	0	1	1	2
1930	8	4	5	17	1	18
1940	13	3	5	21	5	26
1950	23	13	13	49	0	49
1960	18	12	9	39	3	42
1970	14	10	9	33	3	36
1980	13	10	19	42	3	45
1990	28	23	26	77	1	78

注 1 台風、大雨を除く災害で、強風、竜巻、干害、酷暑、冷害、大雪、雪崩、雪害、大火、赤潮など

注 2 マグニチュード6以上とした。

このように、年々増加する自然災害に対して、戦略の見直しや、それに対する認識や警戒をより多くの国民に対して深めてもらうため、関東大震災（1923年）の発生した、9月1日を防災の日と定め、毎年8月30日から9月5日までの防災週間において、防災訓練の実施や防災知識の普及をはじめとする各種取組等（図6-1～図6-2）が全国的に展開されている。今後も、このような活動の場をさらに広げ、政府・地方公共団体・企業を始め、多くの国民が自然災害に伴って生じる危機的な状況に対して、認識と警戒を深めていかなければならない。



図 6-1 銚子市の小学生に対して防災の重要性の講演を行う千葉科学大生



図6-2 銚子市の小学生に対して津波の高さについて説明を行う千葉科学大生

6-1-2 地震多発国日本

6-1-1 で述べたように、自然災害には様々な規模や種類があり、発生するタイミングも複雑である。また、自然災害の種類によっては、ライフラインへ多大な被害を与えるものが存在することが報告されている[11]-[15]。ライフラインが被害を受けると、大なり小なり様々な影響が我々の生活に対して生じることが想定される。例えば、ライフラインの中で下水が被害を受けた場合には、排水が困難となり、他の電気・ガス等のライフラインが無事であっても、日常生活が困難になることが報告されている[16]-[18]。

様々な種類が存在する自然災害の中で、特に「地震」に関しては、他の自然災害とは違い、突然発生することが多く、連鎖的に広域災害に発展しやすいことが推定されている。また、地震の場合、発生場所や時間帯（朝・昼・夜）により、それに対する行動や安全対策も大きく変わってくる。

日本は、図 6-3 に示すように、海洋プレート（太平洋プレート、フィリピン海プレート）および陸側のプレート（ユーラシアプレート、北米プレート）の境界部に位置している[19]。このように複雑な地殻構造の上に位置しており、世界的にみても地震の発生が多い国であり、過去より頻繁に大きな地震に見舞われている[20]。さらに、日本は四方を海に囲まれており、海岸線は長く複雑なため、地震に伴って津波も発生しやすい。

これまで日本国内において、大きな被害を及ぼしてきた地震を大別すると、2 つに分けることができる。1 つ目は、プレートの境界付近で発生する地震であり、この種の地震は、さらにプレート間で発生するものと海洋プレート内で発生するものに分けられる。このタイプの地震は、沈み込みに伴うプレートの変形が限界に達し、元に戻ろうとして急激に運動する際に発生し、比較的震源が浅い場所で発生するため、津波を伴うことが多い[21]-[23]。

プレート間地震の例として、関東大震災（1923 年）や南海地震（1946 年）、プレート内地震の例としては、昭和三陸地震（1933 年）、釧路沖地震（1993 年）、芸予地震（2001 年）等が挙げられる[10]。

2 つ目は、プレートの沈み込み等の影響を受けて、内陸のプレートが歪むこと等により、歪みエネルギーが蓄積され、地下の断層の破壊が起こることにより発生する地震である[21]-[23]。例として、濃尾地震（1891 年）、福井地震（1948 年）、兵庫県南部地震（1995 年）、新潟県中越地震（2004 年）が挙げられる[10]。



図 6-3 プレート境界

2011年3月11日に発生した、東北地方太平洋沖地震（以下より東日本大震災）はプレート間地震であり、強い揺れ津波を伴った。東日本大震災により、日本国内では不測の事態が多発し、「想定外」という言葉がよく使用されていた。想定外という言葉には、「想定していた規模を超える」という意味と「想定していないことが発生する」という2つの意味があるのではないかと思われる。

このような地震等に伴って生じる広域災害に対する危機管理・リスク管理を行っていく上で重要なものとして、「被害想定」が挙げられる。被害想定が甘ければ、「事前対策」もおのずと甘くなり、被害想定を上回る状況が発生した場合には、対応が困難となってくる。逆に、被害想定をある程度厳しくしておけば、事前対策の内容もシビアなものとなり、有事の際の対応にも多少の余裕が生まれてくる。

また、「想定外」を想定内に取り込んでおく想像力もきわめて重要であり、さらに、一度経験した「想定外」の事態に関しては、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ためには、マニュアル化し分野を問わず幅広く知識の共有化を行っていくことが望ましい。

東日本大震災のさらなる概要や危機管理・リスク管理の不備等に対する考察については、6-1-3において述べる。

6-1-3 東日本大震災と危機管理・リスク管理の不備

6-1-3-1 被害想定と対応時における問題点

2011年3月11日（金）の14時46分に発生した東日本大震災は、宮城県牡鹿半島の東南東沖130kmの海底を震源として発生した、大災害の総称である。気象庁や各種機関の発表によると、地震の規模を示す、モーメントマグニチュードは、M9.0であり、日本周辺における観測史上最大の値とされている[24]-[26]。表6-3に1900年代以降に発生した主な地震を簡略的にまとめたものを示す[27]。

表6-3を見てみると、東日本大震災は、チリ（1960年M9.5）、アラスカ（1964年M9.2）、スマトラ沖（2004年M9.1）に次いで、1900年代以降に発生した主な地震の中で、史上4番目の規模となっている。

表 6-3 1900 年代以降に発生した主な地震

発生日	名称	発生場所	規模
1960年 5月22日	チリ地震	チリ	M 9.5
1964年 3月28日	アラスカ地震	アラスカ湾	M 9.2
2004年 12月26日	スマトラ沖地震	インドネシア、 スマトラ島北部西方沖	M 9.1
2011年 3月11日	東北地方太平洋沖地震 (東日本大震災)	日本、三陸沖	M 9.0
1952年 11月5日	カムチャッカ地震	カムチャッカ半島	M 9.0
2010年 2月27日	チリ地震	チリ、マウリ沖	M 8.8
1906年 2月1日	エクアドル沖地震	エクアドル沖	M 8.8
1965年 2月4日	アリューシャン地震	アラスカ、 アリューシャン列島	M 8.7
2012年 4月11日	スマトラ沖地震	インドネシア、 スマトラ島北部西方沖	M 8.6
2005年 3月29日	スマトラ沖地震	インドネシア、 スマトラ島北部	M 8.6
1957年 3月10日	アリューシャン地震	アラスカ、 アリューシャン列島	M 8.6
1950年 8月16日	チベット・アッサム地震	チベット、 アッサム	M 8.6

また、東日本大震災は、発生時刻が平日の 14 時 46 分ということもあり、多くの人々が覚醒し、何らかの社会的活動を行っていたことが明らかである。被災の状況は千差万別であると思われるが、通常業務を中断し、初動的な災害対応業務への切り替えや、避難行動へと移行したことが推定される。

東日本大震災の当日から翌日にかけて筆者が身近で体験した事として、特に一般の企業にあっては、地震を想定した事業継続計画 (BCP : Business Continuity Planning) [28]-[31]を行っている場所があまり多くないという事が挙げられる。この事に関しては、東日本大震災以前からも多くの研究者が問題視をしていた[32]-[37]。

東日本大震災の当日から翌日にかけて、組織内における緊急連絡網等の作成は行っているが、通信規制等により連絡手段が確保できず、様々な対応が後手に回ってしまっているといった事がみうけられた。危機管理・リスク管理の視点から考えると、業務を遂行するための、ある手段が不能となってしまった場合を事前に想定して、その手段を補うための複数の手段を平常時から複数用意しておくことが望ましいが、それを行えていない一般企業の方が多いのではないかという印象を受けた。

一般企業にあっては、今後平常時の経営や金融的な面だけではなく、様々な災害によって被災した場合を想定し、その際の業務の持続性も視野に入れた、事業継続計画を作成していかなければならない。

また、東日本大震災の特徴として、被害が東北のみでなく広域にわたったことが挙げられる。特に、世界最大の人口を抱える首都圏、オフィスや商業施設、娯楽施設などが集中する都心地区では、交通機関がストップしたため、通勤・通学者や買い物客、観光客が帰宅の足を奪われ、「帰宅困難者」となって街中に溢れかえった [38]-[41]。

さらに、首都圏から離れてはいるが、千葉科学大学のある千葉県銚子市でも液状化や様々な被害が発生した (図 6-4 ~ 6-7)。この点に関しては、東海地震、東南海・南海地震[42]、あるいは首都直下型地震[43]を視野に入れ、日本全体で被害想定の見直し等を行っていかねばならない。



図 6-4 千葉科学大学マリーナキャンパス周辺の道路



図 6-5 千葉科学大学マリーナキャンパス内



図 6-6 千葉科学大学マリーナキャンパス内



図 6-7 千葉科学大学本部キャンパス 1階 (1106 講義室周辺)

さらに、福島第一原子力発電所に関わる事故として、技術的な対応問題と避難指示等を含めた対応問題が報告されている[44]-[51]。地震発生から約1時間後に遡上高14～15mの津波に襲われ、全電源が喪失して原子炉を冷却できなくなり、1号機と3号機で炉心溶融（メルトダウン）が発生して、水素爆発により原子炉建屋が吹き飛び、大量の放射性物質の漏洩を伴う重大な原子力事故に発展した[52]-[53]。

原子力発電所の耐震や地震等に伴う問題等に関しては、多くの研究者が報告している[54]-[59]。6-1-2で述べたように、日本は地震が多い国であり、対症療法を講じながら、新しい基準や設備へと徐々に切り替えていくことが、危機管理・リスク管理上望ましいと考えられるが、後手に回ってしまっていたのが現状であった。

さらに、福島第一原子力発電所の事故が発生した際の、政権の対応にも問題があったように思われる。福島第一原子力発電所の事故レベルに対する時系列として[60]-[61]、原子力安全・保安院（現在の原子力規制委員会）は、3月12日の段階で今回の事故の規模が国際原子力事象評価尺度[62]でレベル4（表6-4）と発表した後、18日にレベル5に引き上げた。しかし、各方面からの批判を受けて事故から1か月が経過した4月12日にレベル7とした。

また、避難地域の指定の問題点として、事故が発生した3月11日に福島第一原子力発電所から半径3km圏内に避難指示、半径3～10km圏内に屋内退避支持が出された。翌12日には、避難指示を半径20kmに拡大するとともに、福島第2原子力発電所から半径10km以内にも避難指示が出されている。

25日には、福島第一原子力発電所から半径20～30km圏内の市町村住人の自主避

難を要請、4月22日には福島第一原子力発電所から半径20km圏内が警戒区域に指定され、住民も含めて原則的に立ち入り禁止となった。さらに、20km圏外の一部地域を計画的避難区域と緊急時避難準備区域に指定した。

表 6-4 原子力事故レベル一覧

レベル	影響の範囲		
7 深刻な事故	放射性物質の 重大な外部放出	原子炉や放射性物質 障壁が壊滅、再建不能	
6 大事故	放射性物質の かなりの外部放出	原子炉や放射性物質 障壁に致命的な被害	
5 事業所外へリスク を伴う事故	放射性物質の 限定的な外部放出	原子炉の炉心や放射性物質障壁に 重大な損傷	
4 事業所外へリスク を伴わない事故	放射性物質の 少量の外部放出	原子炉の炉心や放射性物質障壁の かなりの損傷/従業員の致死量被 ばく	
3 重大な異常事象	放射性物質の 極めて少量の外部放出	重大な放射性物質による汚染/ 急性の放射線障害を生じる従業員 の被ばく	深層防護の喪失
2 異常事象		かなりの放射性物質による汚染/ 法定の年間線量当量限度を超える 従業員の被ばく	深層防護のかなりの劣化
1 逸脱			運転制限範囲からの逸脱
0 尺度以下	安全上重要でない事象		
評価対象外	安全性に関係しない事象		

危機管理・リスク管理の視点から考えると、状況が不明なうちは範囲を拡大的にとらえ、安全が確認された時点でレベルの引き下げや避難範囲を縮小していくべきであるが、政権のとした戦略はまったくの逆であった。

これに関して、上述で挙げた東海地震の被害想定内に浜岡原子力発電所が入っており[42]、福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、防波壁の設置や耐震基準の見直し等を踏まえ全国にある原子力発電所全てに対して、国策として危機管理・リスク管理に取り組んでいくことが重要である。

6-1-3-2 被災に伴う流言と情報化社会の発達に伴う問題点

第1章において、情報化社会の発達によって生じる新たな危機の可能性[63]-[65]が報告されていると述べたが、東日本大震災では、電話がつながりにくい状況が続く中で、インターネットを使用した情報交換が活発であったことが報告されている。阪神淡路大震災の際に存在しなかったインターネットを介したツールとして、Twitter[66]とFacebook[67]が挙げられる。

東日本大震災では、TwitterやFacebook等のインターネットを介した情報が、被災者の安否確認や救援に大きな力を発揮していたことが報告されている[68]-[70]。また、避難や帰宅困難者支援する施設の場所がわかるサイトの登場やYou tube[71]などの動画投稿サイトには、地震や津波の瞬間をとらえた映像の投稿が多数みられ、被災者や関係者の行動に対して、一役を買ったことは事実である。

しかし、広域災害時において、インターネットを用いたツールは、被災者や関係者に対して良い面を果たす場合もあれば、悪影響を及ぼす場合があることが報告されている[72]-[74]。

実際に、東日本大震災の当日から不安等から生まれたとみられる流言やデマがそれらのツールを媒介として拡散する事態が発生した[75]。

例えば、東日本大震災の当日に発生した、千葉県市原コンビナートのブレイビー[76]による爆発(図 6-8)の後には、「黒い雨が降るので気を付けて」などと、根拠なしに危機感をあおるメールがTwitterやFacebookを介して流れた。

また、福島第一原子力発電所の事故をうけ、放射性ヨウ素による健康被害を防ぐのに有効な内服薬「安定ヨウ素剤」の代わりに、ヨウ素を含むうがい薬やヨードチンキを飲んだり、ワカメやとろろ昆布を食べたりすることを勧めるメールも出回っていた。

都内では、こういった流言によって不安を募らせた住民がインスタント食品や米類等の生活用品を買い占めるといった現象(図 6-9)が発生した[77]。



図 6-8 千葉県市原市のコンビニート
爆発



図 6-9 インスタント食品の買い占め

これらの逸脱した行動を防止・抑制していく上では、重要な情報については、行政機関や報道などで真偽を確かめることが不可欠であり、少しでも疑わしいメールは、あわてて転送しないことが重要である。

たとえ、信頼している人物からのメールであったとしても、必ず自分自身で情報源の確認を行うことが重要であり、善意のつもりでしたことが、逆に迷惑をかけてしまったり、パニックを起こさせることにも繋がりがかねない。情報が足りないことも、逆に多すぎることも、「世界を単純化して語る」流言の温床となりやすく、広域災害時における正確な情報の共有は、情報化社会や各種ツールの発達に伴い、今後も重要な課題となってくる。

これに関しては、一定数、騙される人々が生じること自体は避けようがなく、むしろその流言やデマによって生じる被害を最小化することこそが、最も重要なことであると考えられる。絶対に騙されない人間などおらず、本当に強い人間であれば、「弱者」への手助けを優先して考える必要性があり、自分自身も「騙される側になってしまうかもしれない」という危機感を平常時から持つておくことが必要であると思われる。

6-1-3-3 避難時・避難所における問題点

東日本大震災では、多数の死者・行方不明者が発生したが、これらの人々は、地震の発生に伴って生じた津波によるものと地震被害によるものに分けられる[78]。津波は、地域特性によって高さや到達時間、被害の形態等が異なることが報告されており、地域防災計画等に基づき、地域の特性に応じて、海岸堤防や避難路等の施設整備等のハード対策に併せて、津波警報伝達の迅速化による避難の的確な実施等のソフト対策が必要となってくることが想定される。

東日本大震災の津波警報・注意報発表後の避難時における問題点として、地震発生から4分後には津波警報や注意報を発令し、津波が到達されると予測される地域には避難を呼びかけたが、場所によっては、近隣に避難できるビルや避難所が少ないなどの立地条件に加えて、避難が完了するまでに時間がかかった地域が複数あったと報告されている[79]-[80]。

ここまで述べてきた点に関しては、近い将来日本が迎えることになる「超少子高齢化社会」を視野に入れ、短時間で避難可能な場所の選定や見直し、一般の高齢者や要介護の方々の避難時の補助や避難所での、生活問題についても視野に入れ、避難所の設営計画等(図6-10～図6-11)を細かく検討していかなければならない[81]-[86]。



図 6-10 避難所の設営を行う千葉科学大生



図 6-11 避難所で高齢者の生活支援を行う千葉科学大生

さらに、最近ではペットブームにより、ペット（図 6-12 ～ 図 6-13）を飼育する家庭やアニマルセラピーを行う機関が増えてきており、ペットがより身近な家族としての役割を果たすようになってきている[87]-[90]。このため、避難所においてペットの受け入れ時等において様々な問題が生じてくることが予想される。

人はもちろんであるが、ペットにとっても、見知らぬ集団の中や限られたスペースでの生活はストレス等の原因となり、異常行動を取ったり、病気になったりすることが報告されている[91]。

また、飼育者がペットを放置したり、解き放すことによって、第 3 者に危害を加えてしまう可能性もあり、幅広い対応を視野に入れた対策が必要となってくる。



図 6-12 ペットの例（哺乳類）



図 6-13 ペットの例（魚類）

6-1-4 広域災害時における連携体制の重要性と災害廃棄物を視野に入れた事業継続計画

6-1-3-1 でも述べたが、現在、我が国においては、南海トラフに沿うフィリピン海プレート沈み込みにより発生しうる東海地震、東南海・南海地震、あるいは首都直下型地震の切迫性が指摘され、その発生が危惧されている[42]-[43]。

また、好ましくない状況が発生することを平常時においても事前に想定し、それに対応するための手段を策定しておくことが、危機管理・リスク管理上重要であり、広域災害に対処する事前対策の第一歩であると思われる。

広域災害発生時には、被災自治体が単独でそれに対応することは極めて困難であるため、様々な協力・連携体制が必要・有効となってくる。したがって、被災自治体および支援自治体の両方の立場から、事前に連携体制を検討しておく必要があり、計画

を進めていく上で、留意すべき点を以下に示す[92]-[94]。

- ・自治体同士の連携も重要であるが、自治体だけでなく周辺の企業との連携も重要であると考えられる。また、広域災害の場合には、周辺にある自治体や企業も被災することが想定され、離れた地域の自治体や企業との広域連携も重要となってくる。
- ・災害初動時、応急復旧時、復旧時に取り組む様々な業務において、被災自治体が自ら行うのか、または支援自治体が行うのかを被災のレベルを踏まえ細かく規定する。他自治体からの職員を受け入れる場合においては、住民性や地域の特性に対して不慣れであることが予想されるため、情報共有等を十分に行う必要がある。また、職員や機材等の派遣に要する費用負担も見積もっておく必要がある。
- ・特に災害初動時、複数の異業種が支援に入った場合、混乱を招くことが考えられる。それぞれが持ち込んでくるであろう機材や人員の特性にあわせて、最大限の支援を発揮できるように調整し、必要とされている現場へとスムーズに送り込めるように、派遣の統括を行える人材や部署を確保し、それらの配置を定めておく必要がある。

しかし、広域災害時には、不測の事態や想定外が起きやすく、上述したように事前に細かく計画を策定しておいたとしても、実際には対応できにくいことも発生する。

例として、東日本大震災でも見られた、電話網の輻輳と基地局の被災により、通信網が分断されるなど、いくつかの阻害要因[95]-[97] (表 6-5) が想定される。そういった事象に対応するため、被災時においても、PDCA (図 6-14) サイクル等を上手く応用し、その都度計画を修正し対応にあたることが望ましい。

特に、図 6-14 に示す、初動体制の確立と対応の項目にあつては、人命救助と情報収集が最優先事項である。しかし、路上に災害廃棄物が大量に散乱している場合など、それらが活動の妨げとならないよう、災害廃棄物への対応もできるだけ早期の段階で始めることが必要である。

表 6-5 想定される阻害要因

要因	影響あるいは障害の程度
余震	再避難による業務停止、施設被害の増加、 停電の誘発
施設被害	立ち入り禁止に伴う業務停止、 場所の移動
停電	業務停止、FAX や固定電話の普通、情報遮断、 生活環境の悪化
固定電話基地局の被災	情報の遮断、携帯電話の利用の集中
携帯電話利用の集中	通信不全
防災無線	機能停止、誤誘導の誘発
燃料不足	人命救助、物流の停滞、生活環境の悪化

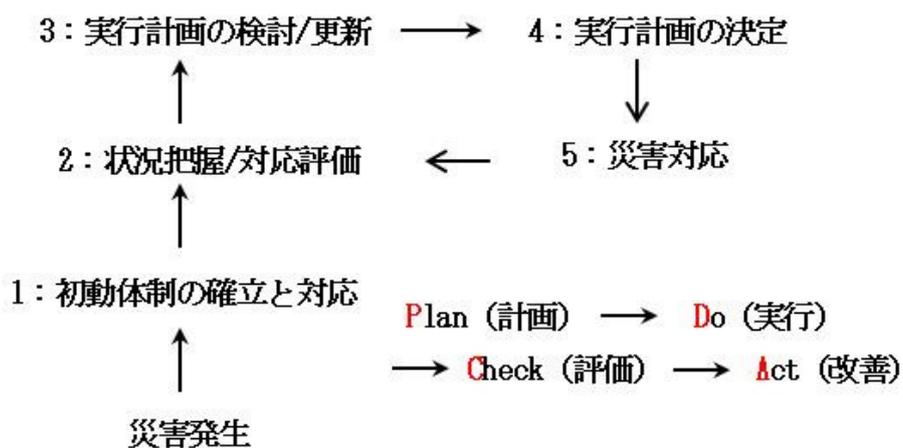


図 6-14 広域災害対応への PDCA サイクル

さらに、6-1-3-1でも述べたが、現在、多くの自治体や企業では、地震や風水害、新型インフルエンザ等好ましくない状況を想定し、限られた人員や資源で業務をすみやかに実施するために、事業継続計画を策定している場所が増えてきていることが報告されている[98]-[99]。しかし、今回の東日本大震災においては、平常時から事業継続計画を定めていた自治体や企業であっても、適切にそれが稼働しなかった場所や部門があったことは事実である。

事業継続計画がうまく稼働しなかった理由として、時系列に沿った、対応方針が細かく定められておらず、その結果、電話回線が輻輳する中で緊急連絡網による安否確認のみに追われてしまい、具体的な行動を起こせなかったことが報告されている[100]-[104]。

さらに事業継続計画の中で、停電・通信手段の輻輳や公共交通の不通は想定範囲内であり、許容可能としている場所や部門が多いが、You tube等の動画投稿サイトにおいて、多数の帰宅困難者が歩いて帰宅する映像やJRの締め出しにより、駅周辺で一夜を過ごす人々の映像を見ると、定められている事業継続計画の中に、危機管理・リスク管理上の不備が多数あったことは明確である。

こういった事を踏まえて、今回の東日本大震災を契機として、自分自身が所属する場所や部門での事業継続計画が被災時において現実的に稼働できるかどうか、また、被災時・復旧時に発生するであろう災害廃棄物（建築物の損壊・改修時に伴うものや損傷により、流通不可能な商品等を含む）も視野に入れ、将来発生する可能性のある広域災害に向けて、点検見直しをすることが重要である。

6-1-4-1 広域災害時における災害廃棄物への適正な対処・処理計画

広域災害時には、想定をはるかに上回る量の災害廃棄物が発生する可能性がある。したがって、危機管理・リスク管理の3要素の1つである「事前対策」の観点より、広域災害時における災害廃棄物の発生量を事前に想定し、適切な対処・処理計画を策定しておくことは重要である。それを行うことによって、仮置き場のおおよその設定や処理にかかる費用等の見積もりも可能となる。

仮置き場における自然発火[105]-[109]等の事故防止や環境問題の防止については、第3章で得られた結果を考慮して進めることが望ましい。

また、災害廃棄物の発生量を予測する際には、地域特性等を適切に反映するため、土地利用（建物密度等を含む）、発生源単位、建物等の構造別（鉄筋コンクリート・木造等）等を把握し、細かな震度設定を行いハザードマップ等を参考にしながら、予測を行うことが望ましい。

さらに、6-1-4において、事業継続計画内には、時系列に沿った対応方針を明記すべきことが報告されている[100]-[104]と述べたが、災害廃棄物への対処も被災時の混乱状況の中で、円滑に行われなければならないため、対処・処理計画の中にも取るべき行動とそのタイミングを、時間軸で示しておくことが有効である。

また、細かな対処・処理計画を策定していたとしても、事前に想定しておいた処理施設が被災し、自前の処理のみでは対処が困難になることが予測される。そのため、国や他の都道府県、市町村への支援要請を行う手順や方法等も、想定しておかなければならない。さらに、発生した災害廃棄物にはそれぞれの特性に応じて、それぞれ重点的に対処すべき時期があり、優先度をその都度見直し、対応にあたらなければならない。以下に各段階において、発生が予測されている災害廃棄物の例を示す[110]。

- ① 路上の災害廃棄物の除去
- ② 避難所等における仮設トイレの設置やし尿の処理
- ③ 避難生活等に伴い発生する生活ごみ等の処理
- ④ 仮置き場に集積された災害廃棄物の処理

路上に災害廃棄物が散乱していた場合、救助活動や支援物資の輸送が困難となるため、①から順に、被災状況を把握し、総合的に対処・処理を行っていくことが望ましいと考えられる。また、避難所生活（図 6-15）や仮設住宅生活が長引く可能性がある場合には、公衆衛生にも気を配る必要がある。

例えば、食中毒やノロウイルス・インフルエンザ等による感染症が発生した場合には、患者の嘔吐物等が二次感染の原因とならないように、必要に応じて消毒、密閉・隔離等し、適切な対応を行うなど生活環境保全に十分留意する必要がある[111]-[114]。

また、6-1-3-4において避難所におけるペットの問題について述べたが、それらの生活に伴い排出されるし尿等の処理はもちろん、動物を媒介として広がる疾患（喘息やアレルギー等を含む）についても十分留意しなければならない。



図 6-15 東日本大震災で設営された緊急避難所（銚子市高神小学校・2011年3月12日撮影）

ここまで、災害廃棄物の特性に応じた対処すべき時期と優先度について述べたが、処理スピードや災害廃棄物の発生量に配慮しつつ、可能な限り「循環型社会の構築」を視野に入れ、3R (Reuse・Reduce・Recycle) 等を行うことも望ましい。

また、3Rを行う上では、過度な環境保全意識により、費用度外視で行うのではなく、適切な価格で処理を進め、全体のコストを抑制し、処理単価とのベンチマーキングを行いながら、吟味する必要がある。

災害廃棄物の迅速かつ適正な処理、リサイクルの推進は分別排出によるところが大きく、計画を進めていく上で、住民の理解と協力は欠かせないものである。これに関しては、被災後、速やかに住民に対して情報配信できるよう平常時から排出方法、排出場所等について計画しておくことが重要となってくる。災害廃棄物に対する住民への理解と協力の促進に関しては、6-1-4-2において述べる。

災害廃棄物という1つの側面からではあるが、環境問題や負荷等を省みると、いかに減量していくかが重要となってくるため、被災者（住民）の視点も組み込み、3Rを考慮した適正な対処・処理計画を明らかにし、自助、共助、公助の精神を活用して、広域災害時においても、住民に対して安全と安心を供与できる計画を検討することが重要である。

6-1-4-2 地域住民の災害廃棄物処理への理解と協力の促進

災害廃棄物の適正処理を行う上で、住民の理解は欠かせないものである。また、災害廃棄物の迅速かつ適正な処理、リサイクルの推進は分別排出によるところが大きく、計画を進めていく上で、住民の理解と協力は欠かせないものである。このため、住民の理解を得られるように情報の配信を行う必要がでてくる。配信内容としては、収集方法・分別方法・集積場所・収集時期等が挙げられる。また、こういった情報は配信する上で注意しなければならない。

例えば、優先して伝達すべき情報（被害状況や余震、安否確認、避難所や救援物資の支給）の周知を阻害しないようにすべきである。6-1-3-2でも述べたが、多くの情報を配信しすぎてしまうことにより、住民を混乱させてしまうことが考えられる。情報が多すぎることでも足りないことも問題となってくると考えられるため、それを解消する上で、発信方法や内容を限定するなどの配慮が必要となってくる。住民が災害廃棄物を取り扱う上で、配信を望むと考えられる情報と配信時における注意点の例を以下に示す[115]-[117]。

- ・被災した家屋等の片付けを行う際、家庭内に存在する危険物・薬品(液体燃料や農薬、医薬品等)の取り扱いには十分注意しなければならない。被災時に家屋から発生が想定される災害廃棄物については、事前に検討を行い、取り扱い等を記載した、「災害廃棄物取扱い一覧表」等を事前に作成しておくことが望ましい。
- ・片づけを行う際に野焼きをする人が出る可能性がある。第3章、表3-2の災害廃棄物に起因する火災等の事故一覧において示したが、それが原因で発生してしまった火災も存在する。野焼きについては原則禁止とし、やむをえず野焼きする場合には、環境問題に配慮し塩化ビニル等を取り除くことなどを呼び掛ける必要がある。
- ・情報配信時には、デマや流言に間違われぬようにするため、発信元および問い合わせ先を明示することが望ましい。問い合わせ先にあっては、対応する人員によって提供する情報や用語に差異がないよう、Q & A集を作成するなど、情報の一元化に努めるべきである。また、災害廃棄物処理専用のコールセンター等を設けることも有効であると考えられる。

- ・ 情報を受け取る側、配信する側の双方が被災直後の混乱状況にあることを念頭に、必要最低限の情報に留めることが望ましい。ただし、情報が少なすぎることによって生じる住民の不安を解消すると共に、自治体窓口で直接問い合わせが殺到しないよう、どの時期にどのような具体的情報を伝えるつもりなのかについて、平常時から事前に検討を行っておくことが望ましい。

上述してきた情報の発信方法として、被災時には通信の輻輳や不通等が想定されるため、できるだけ多くの住民が自分自身の目で情報を閲覧できるような場所での掲示を行うことが望ましい。

掲示場所の候補としては、自治体庁舎や公民館等の公共機関や避難所が望ましい。また、平常時に想定しておいた掲示場所が被災し掲示が不可能となることも予測される場合には、掲示場所については改めてその都度、避難所等で説明会を行ったり、防災行政無線、広報宣伝車を用いることが望ましい。

さらに、通信手段が回復した場合においては、自治体のホームページや携帯サイトに情報を整理し、必要な情報を検索できるようにし、緊急情報についてはエリアメール等を活用し、一斉に周知を図ることができるように整備することも有効であると考えられる。また、海外からの移住者、短期滞在者を視野に入れ、英語版等も別途作成を行うことが望ましい。

6-1-4-3 被災時における災害対応経験者の受け入れとボランティア組織の重要性

被災時において、その自治体や組織の職員のみでは、業務をこなすことは非常に困難となることが想定され、さらに、被災経験や災害対応の経験が無い場合には、より困難になることが想定される。そういった状況を打開していく上で、災害対応を経験したことのある他の自治体や、組織の職員に支援要請を行うことは必要不可欠である。

東日本大震災では、阪神・淡路大震災での災害対応の経験を持つ職員が、被災した自治体や組織の中核に入り、指揮をとって情報収集、優先課題の洗い出し、組織の編成、災害廃棄物への対処等を行ったという事例が存在報告されている[118]-[121]。

一度体験したものに関しては、次に同様のものが発生することを視野に入れて、想定範囲内に取り込み自身の力として今後に活かしていかなければならない。今後発生することが危惧されている、首都直下型地震や南海トラフに伴う東海地震、東南海・南海地震を考えた場合[42]-[43]、今回の東日本大震災で災害対応にあたった職員の経験や知

識は非常に有効なものである。今後広域災害の発生が予想されている地域に、災害対応経験をもつ職員を円滑に派遣できる体制づくりや、災害対応経験者を講師とした職員研修会等も随時行っていく必要がある。

災害対応を経験したことのある職員が、被災自治体や組織の各部署に入り、一員となって作業を進めることは、復旧への道のりが速やかなものとなる。さらに、時間の経過に伴い、被災自治体や組織の職員が行う対応は、通常業務と併せて膨大なものとなってくるのが想定される。そこで、災害対応を経験したことのある職員派遣が重要となってくる。派遣職員については、期間限定ではなく実際の作業量に合わせてその都度、検討を行っていくことが望ましい。

災害廃棄物の観点から、被災家屋の解体や散乱物の回収は、土木・建築工事が中心であり、その発注業務の際には、設計書等を作成しなければならない。こうした作業は経験のない一般の事務職員のみでは時間を要し、速やかに業者発注ができなくなることが想定されるため、土木工事の監理を行っている土木・建築職の知識を有する職員に支援の要請を行うことが望ましい。

また、広域災害時には上述してきたような公的な職員以外に、ボランティア組織や自主防災組織の存在が重要なものとなってくる。阪神・淡路大震災をきっかけに、ボランティアの重要性が認識され、1998年には特定非営利活動促進法が成立した[122]。これは大規模災害に対応するにあたり、「全体の奉仕者」である行政は、その公平・平等の原則が足かせとなって動きを抑えてしまったのに対し、ボランティアは、公的機関が極めて苦手とする被災者の個人レベルでの多様なニーズへの対応を可能にしたことが注目されたからである。

さらに、最近では、学内にボランティアセンターを設置し、有事の際には即座に派遣できるように、体制づくりを行っている学校も存在する[123]-[126]。

特に、広域災害時における家屋からの災害廃棄物排出等に関しては、ボランティアの協力に負うところが大きい。津波や大規模な水害が発生した場合には、大量の水や土砂が流入することが想定される。そのため、被災者は生活復旧のため、早急に泥や被災家財を家の外に排出し、片付けなければならない。この作業は、被災者自ら行わなければならないが、実際にはそれは極めて難しい。従って、泥出しボランティア（図 6-16）等は被災後すぐに多人数必要となってくる。



図 6-16 泥出しボランティアを行う千葉科学大生

このように、多くの人手を要する災害初動や応急復旧時において、ボランティアの支援は大変有効不可欠なものである。しかし、受入準備体制ができていない場合には、かえって被災地内において混乱を招いてしまう可能性も報告されている[127]-[129]。ボランティアの支援を効果的に活用するためには、ボランティアを受け入れる側、活動を行うボランティア側両方の視点から様々な検討を行っておくことが望ましい。検討項目の例を以下に示す[130]。

- ・被災時におけるボランティアセンターの設置場所の検討を行い、ボランティアセンターと情報のやりとりを行う専門の窓口の確保
- ・災害廃棄物の取り扱い時における、危険物・衛生対策等の注意事項をボランティアに対して連絡できる体制づくり
- ・悪臭等の防止のため消毒剤、防虫剤等の散布の依頼をする場合、薬剤の取り扱いに関する安全作業のための注意事項等取扱要領の作成と説明会の開催

- ・被災地にボランティアに行く場合、事前に現地でコーディネートしてくれる団体等に申し込み、ボランティア活動保険には必ず加入する。
- ・被災地でボランティアを行う者は衣類、食料・水は持参し、ごみも持ち帰る。し尿処理も現地の負担になる点に注意し、仮設トイレなどが設置されている場合は、衛生的な使用のための運営に寄与する。宿も自分で手配する。テントや燃料等持参でボランティア活動を行う必要があることも心がけておかなければならない。ただし、物資が量的に不足していない段階では、現地の経済に貢献する意味でも食事は外食あるいは小売店で買うことも良い。
- ・破傷風、インフルエンザ等の感染症予防および粉塵やハエに留意する。予防接種のほか、けがをしたら綺麗な水で傷を洗い、速やかに最寄りの医療機関にて診断を受ける。

また、被災直後においては人海戦術等（マンパワー）を必要とするため、多くのボランティアが必要となる。しかし、ある程度復興が進んだ段階においては、専門知識等を有したボランティア（図 6-17）の必要性が高まってくると思われる。

これらの点を踏まえて、ボランティアを受け入れる側・派遣を行う側にあっては、被災地の状況や現状をその都度細かく把握して、受け入れや派遣の検討を行うことが重要である。



図 6-17 被災者に対して応急手当を施す医療知識を有する
ボランティア

前述まで論じてきたことを総合的に考えると、いつやってくるかわからない広域災害に対して、今後一般的な形式だけの防災都市計画だけでは、対応できないことが想定される。これを打開していく上で、広域的な友好姉妹都市や市町村造りを強化し、被災時において双方が受け入れ可能な災害対応策や、協力関係等を盛り込んだ協定書等を作成し、それを基にしたシミュレーション等を行っていくことが重要となってくる。

また、産・官・学の連携も含めて、有事の際にその地域内において、リーダーの役割を果たすことができ、住民をまとめ上げることができる人材（図 6-18）の育成も精力的に取り組むべきである。こうした事を細かく行っていくことで、危機管理・リスク管理に強い、安全意識を高く持てる社会へと繋げていけると思われる。



図 6-18 千葉科学大学 学生消防隊 学生警察支援サークルスターラビッツ

6-2 食品廃棄物に起因する火災・酸欠等の事故と循環型社会構築に向けて

食品廃棄物等の再資源化は、比較的新しい試みであり、それらに関わる技術は日々進歩している。しかし、新しい試み・新技術であるがゆえに、情報が少なく予期しない事故を発生させてしまう確率が高いように思われる。銚子市の火災現場と苫小牧市の酸欠死亡事故現場での現地調査の中で感じた、危機管理・リスク管理の不備を踏まえ、今後構築が求められている循環型社会を想定し、第4章の熱危険性評価手法による食品廃棄物の研究を通して得られた知見や結果を取り入れ、講じていくべきである「事前対策」を示す。

6-2-1 21世紀において望まれる廃棄物への対処・処理計画

日本は、高度経済成長期以降、大量の廃棄物を排出し、最終処分場のひっ迫による不法投棄や大気汚染、温室効果ガスによる温暖化など、様々な環境問題を引き起こしてきていることが報告されている[132]-[135]。

また、時代が進むにつれて焼却・埋め立て等を行う処理施設の建設は、住民の反対が激しく設置が困難となってきたことも報告されている[136]-[139]。たとえ、建設できたとしても処理が追いつかず、不適正処分等の悪循環を生じさせてしまっている[140]。このままの状況が続いた場合、将来的に多額の処理費用が必要となってくることが想定され、産業・人間活動が過大な制約を受ける等の状況が生じる可能性が高い。この状況を改善していく上で、環境への負荷の低減や、環境と両立した社会システムである循環型社会の一日も早い形成が重要となってくる。

そこで、環境元年といわれた2000年には、国の戦略として廃棄物・リサイクル対策について廃棄物処理法の改正、各種リサイクル法の制定などがなされ、同年6月にこれらの基本法となる「循環型社会形成基本法」が制定されるに至っている[141]-[142]。

この法律内において、「循環型社会」とは、① 廃棄物等の発生抑制、② 循環資源の循環的な利用、③ 適正な処分が確保されることによって、天然資源の消費を抑制し、環境への負荷ができる限り低減される社会、と定義されている[141]。

上述した、廃棄物処理法では、廃棄物とは占有者が自ら利用し、または、他人に売却することができないために不要となったごみ、粗大ごみ、燃えがら、汚泥、糞尿、廃油、動物の死体などの汚物または不要物で、固形状・液状のものと定められている。なお、廃棄物は、図6-19に示すように大きく一般廃棄物と産業廃棄物の2つに区分されている[142]。

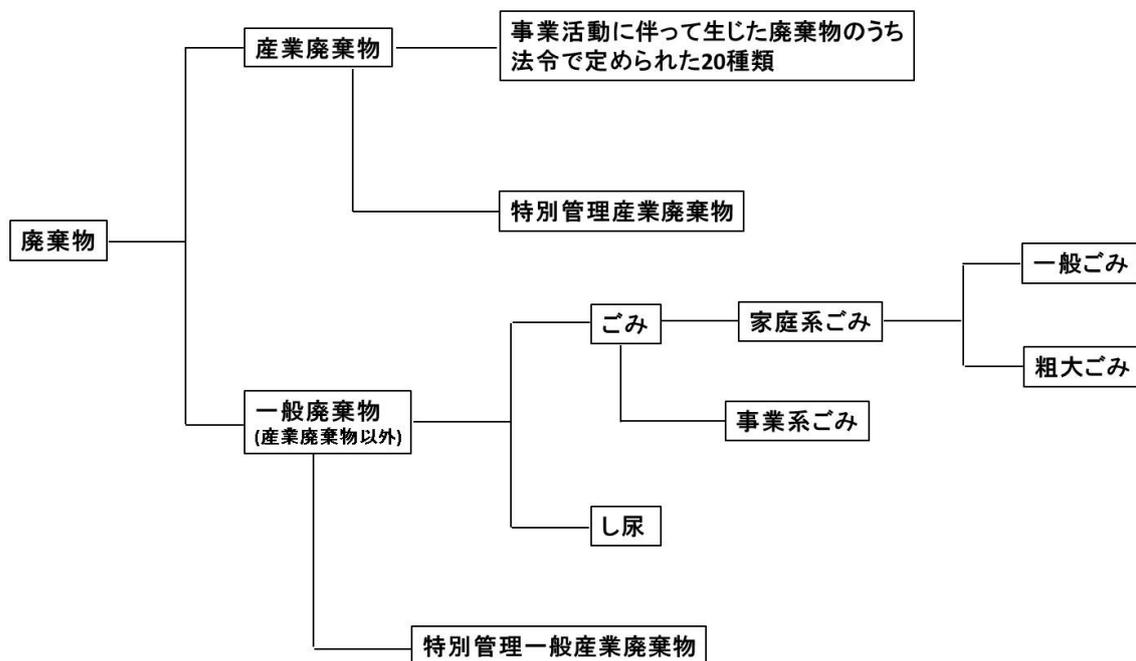


図 6-19 廃棄物の分類

ただし、放射性物質およびこれによって汚染されたものは、この法律からはのぞかれており、産業廃棄物のうち、爆発性、毒性、感染性などによって人の健康や生活環境に被害が生じるおそれのあるものを、特別管理産業廃棄物と定め、収集から処分に至るまでの全過程において厳しく管理することが義務づけられている。

このような廃棄物の発生を抑制する上で、現在進められている廃棄物の 3R (Reuse・Reduce・Recycle) 活動は、環境負荷を低減させることに大いに役立っていると思われる[143]-[146]。しかし、今後さらに環境におよぼす負荷を低減した処理方式へと、変革していかなければならない[147]-[148]。

第 3 章においても、広域災害時に突発的に発生する災害廃棄物に対して、適正な 3R を講じることは望ましいと述べたが、災害廃棄物と産業・一般廃棄物の違いとして、前者は、短期間の内に大量に発生するのに対して、後者は、ある一定の量が日常的に排出される点が挙げられる。発生過程や形態等に多少の異なりはあるが、これらの発生量や環境へ及ぼす影響等を事前に想定し、危機管理・リスク管理を基盤とした対処・処理計画の作成を行っておくことは、循環型社会を構築していく上で必要不可欠である。

廃棄物対策は、環境負荷や資源の浪費を防止するために極めて重要な対策分野であり、その確実な実施のためには、排出事業者、処理事業者はもとより、我々国民が対策について広く理解していかなければならない。

21世紀は、持続的に発展していくための社会システム（適量生産・適量消費・最小廃棄を目指した循環型社会）を構築していくべきであり、様々な廃棄物を循環資源として利用しながら適正に処理を行い、自然環境や生活環境を保全することが求められている。

6-2-2 食品廃棄物問題と循環型社会の構築化

6-2-1において、循環型社会と危機管理・リスク管理を基盤とした廃棄物対策の重要性について述べたが、循環型社会の目的は、社会を循環型にすることではなく、社会の持続可能性を高めることである。

しかし、この目標を実現するには、環境的・経済的等の様々な「危機」が伴うと考えられる。特に、食品リサイクル法が施行されたことにより、様々な段階で排出される食品廃棄物の再資源化が義務づけられた[149]。これにより、食品廃棄物の発生量が減少し、循環型社会への寄与となることが期待されたが、施行当初、この法律には取組みに対する報告義務がなく、罰則対象も100t以上の大規模な業者だけであったことから、多くの業者は積極的に取り組まなかったことが報告されている[150]-[152]。

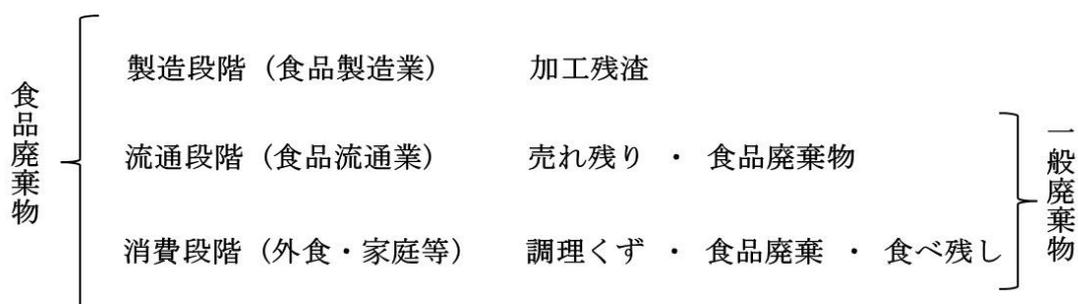


図 6-20 食品廃棄物の概要と各段階における発生

さらに、家庭から排出される食べ残し等に関しては、対象とされておらず、罰則対象の100t以上という数字だけが1人歩きしたために、100t以上を発生しない事業者は、再生利用をしなくてもいいと捉えていた事業者も少なくなかったように思われる。

食品リサイクル法施行時において、安易な数字と罰則のみを誇張して定めるのではなく、細かな義務や計量方法等の規定を実際に処理を行う事業者と、それが可能かどうかを協議した上で、施行できれば状況は変わっていたのではないかと推定できる。

また、食品リサイクル法の施行によって、これまで焼却・埋め立て等されていた食品廃棄物が、リサイクルの素材として流通することによって、それ自身が、競合してしまい地域によっては、飽和状態になってしまふことが報告されている[153]-[156]。

さらに、地球温暖化や化石燃料の枯渇化、福島第一原子力発電所の事故を受けた「脱原発」思想による再生資源燃料への期待の高まりが[157]-[161]、これに拍車をかけることも想定される。

また、市場が飽和している状態でのリサイクルの義務化は、経営の困難化にとどまらず、零細な産業や企業等を衰退・廃業へと追いやってしまうことも想定される。

6-2-2-1 食品廃棄物の再資源化時における課題

食品リサイクル法内では、食品廃棄物を再生利用する手法として、飼料化が優先に位置づけられており、積極的な活用が促されている。また、食品廃棄物のリサイクル手法には飼料化以外に、肥料化、エネルギー化等がある[162]-[170]。それらをまとめたものを以下に示す。

飼料化：飼料化手法には、乾燥方式とリキッドフィーディング方式の2種類の方式がある。乾燥方式は、乾燥方法により、① 乾熱乾燥方式、② 油温脱水方式、③ 発酵乾燥方式、④ 減圧乾燥方式等に細分化される。食品廃棄物飼料化事例の多くは、乾燥方式を採用している。

肥料化：肥料化とは好気的な条件下で食品廃棄物を微生物によって分解する作業を指す。家庭用の生ゴミ処理コンポスター（図 6-21）、乾燥型生ゴミ処理機（図 6-22）は広く全国に普及し、レストランなどの事業所でもコンポスターが普及しつつある。

エネルギー化：エネルギー化とは食品廃棄物を嫌気的な条件下で発酵させ、メタンガス等を取り出し、これを各種のエネルギー源として利用する方法である。



図 6-21 生ゴミ処理コンポスター



図 6-22 家庭用乾燥式生ゴミ処理機

前述したような再資源化手法を 1 個人が趣味の範囲として行っていく上では、あまり問題は生じない。しかし、自治体や企業等が循環型社会構築を目指し、これに取り組もうとした場合、様々な問題が生じてくるのが想定される。生じる可能性のある問題例を以下に示す。

- ① 腐敗・変質し、衛生的に問題を生じる廃棄物が多く、取り扱いが困難である。
- ② 資源化のための技術および加工に関する関連情報が少ない。
- ③ 再資源化するための加工設備費用の初期投資と維持費が高い。
- ④ 製品化後の商品の品質が一定でない。
- ⑤ 再資源化製品の流通および市場の確保が困難である。

また、上述で挙げたもの以外に、食品廃棄物を飼料等の原料として使用していく上で、異物の混入はあってはならないものとされている。重金属や有害化学物質、病原菌などはもとより、紙や食器類、木製の爪楊枝などの混入も深刻な問題となってくるのが想定される。

食品廃棄物の再資源化に関する意識は、食品リサイクル法施行以前と比較すれば、高いレベルにあるが、排出者と利用者との間における、「ゴミ」と「有効資源」という感覚の相違は依然として大きいと思われる。

こういったものを再資源化するためには、それ自身の性状や生じうる好ましくない事象の検討をよく行った上で、その付加価値を高めていく努力を行っていかねばならないと考えられる。また、現状では、それを支援する体制が十分であるとは言えないため、具体的には、実際の現場に近い県や地方レベルでの取り組みを充実していくことや、利用先を新たに開拓することも必要である。

6-2-3 事故事例情報の入手と類似性の検討

食品廃棄物の多くは、組成が一定でなくその取り扱い状況も様々であることから、発生しうる好ましくない状況や事故等の予測が簡単ではない。しかし、好ましくない状況や事故というものには必ず他との類似性があり、類似した状況はすでに他の場所等で発生している可能性が高い。

現在の状況と過去の状況がどこまで類似しているかは、ケースバイケースであるが、他の場所で発生したものが自身の所属する場所では、発生しないだろうと過信せず、類似性の存在を細かく分析し、洗い出し等を行い日々の活動やマニュアルに対して反映させていくことが望ましい。

そういった事を行っていく上で、他の場所で発生した好ましくない状況もしくは事故というものには、安全を高めていく上での貴重な情報が含まれており、設備の設計や意識改革、安全教育においても活用することができると思われる。

また、情報化社会の発展に伴い、こういった情報は一昔前と比較すれば、オンラインを活用したツールで比較的簡単に入手が可能となってきた。食品廃棄物のみを取り扱ったデータベースは存在していないが、様々な廃棄物の事例を含む事故データベースは存在しており、それらから類似性を見出し、安全対策やマニュアルの作成等に対して有効利用が可能であると思われる。オンラインを用いたツールとして、具体的には、以下のものが存在する。

- ・ RISCAD (<http://riodb.ibase.aist.go.jp/riscad/>)[171]

独立行政法人産業技術総合研究所が運営する化学事故データベースで、1949年10月に8名が死亡したジニトロフェノールナトリウムの爆発事故以降、約5000件、5000物質以上を収録している。事故を時系列的に表示し事故の流れや事故原因の推定を行うための事故事象進展図（PFA：Progress Flow Analysis）や、分解や異常反応に関連する熱危険性の測定結果（示差走査熱量分析；DSC）を含む事例もある。事故に関連した物質や発生国、業種、工程、設備、推定原因、発災事象などからキーワード検索が可能である。

- ・ 失敗知識データベース (<http://www.sozogaku.com/fkd/>) [172]

科学技術振興機構（JST）が構築し、運営しているデータベース。化学プラント、機械、設備材料、建築などの技術分野ごとに1000件以上（化学事故は約330件）の事例が掲載されている、それぞれの分野の専門家が分析してその結果を表示している。

- ・ 災害情報データベース (<http://www.adic.waseda.ac.jp/modules/tinyd2/>) [173]

特定非営利活動法人の災害情報センター（ADIC）が運営するデータベースであり、産業事故以外にも、自然災害や都市災害、交通災害、薬事災害など十数万件を掲載し、化学物質関連は1万件以上。会員制で詳細情報は有償で頒布する。製品を含む物質、廃棄物処理など工程、発生年などから検索が可能である。

- ・ オンライン安全衛生情報 (http://www.jaish.gr.jp/anzen_pg/SAI_FND.aspx) [174]

中央労働災害防止協会が無償で提供しており、「廃棄物」などのキーワードでの検索が可能である。

- ・ 事故事例データベース検索システム (<http://www.khk.or.jp>) [175]

高圧ガス保安協会が高圧ガス保安法に関連する事故をデータベース化し公開している。

- ・危険物等事故関連技術情報 (http://www.khk-syoubou.or.jp/accident_case/) [176]
危険物保安技術協会が総務省消防庁に報告される火災・爆発、漏えい事故情報をデータベース化している。事故情報を会員に対して有料で提供する。1事例あたりの情報量は少ないが、件数は多く工程や作業のリスクを判定する際の頻度算出に活用可能である。
- ・US Chemical Safety and Hazard Investigation Board (<http://www.csb.gov/>) [177]
CSBは化学物質の事故を収集、解析する米国の連邦機関で、化学事故の速報を随時更新し重大事故については年間5～6報の公式報告書を公開している。また、工場火災や粉じん爆発などの重大事故の動画を作成し、Web上で公開している。

上記したようなサイトから、事故情報を抽出し安全対策として活用していく段階で、いくつか注意しなければならない点が考えられる。例えば、単純な労働災害を除くと、事故は図 6-23 に示すように何らかの起因事象がきっかけとなって発生する可能性が高い[178]-[179]。

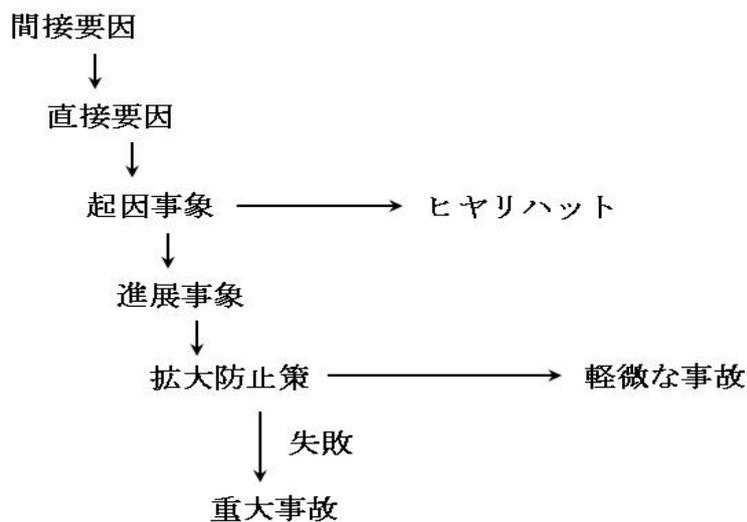


図 6-23 事故発生への過程

図 6-23 内に示される「起回事象」とは、事故の起きた設備や施設で最初に発生した異常な事象を示す。起回事象がそれ以上進展しなければヒヤリハットで終わるが、何らかの理由で事象が進展すると様々な事故へと繋がっていく可能性が高い。

この起回事象は偶発的に発生することは少なく、多くは組織や管理に関する何らかの間接・直接的な要因によって引き起こされている可能性がある。

事故情報を抽出し、安全対策として活用した上で、再発の防止に努めていく段階では、次項の 6-2-3-1 で示すような、個々の安全に対する意識の改革運動や教育を行い、起回事象の引き金となる、間接・直接的な要因の減少化を行っていかねばならない。

6-2-3-1 事故情報を基にした意識改革と安全教育

食品廃棄物等を含む様々な物質は、適切な条件下で取り扱われている場合には、めったに事故は発生しない。しかし、図 6-23 で示したように、取扱いの過程で好ましくない事象が影響を与えることにより、第 4 章で示したような重大事故へと繋がってしまう場合がある。

主に、化学物質を取り扱う産業では、歴史が深く過去に数多くの事故を経験しているため、プロセスを安全に運転するための対処方法等が開発され、簡単に重大事故に進展しないシステムが整備されてきている[180]-[186]。

しかし、食品廃棄物等を取り扱う工程では、化学プロセスに類似する設備も多いにもかかわらず、安全に運転するための技術の導入が遅れているように思われる。

その原因は、取り扱う物の組成や形状が一定でなく、様々な技術が急速に開発されつつあり、想定外の危険性を検討する時間的余裕が少ないことなども挙げられる。

また、化学物質を取り扱う産業と比較しても食品廃棄物等を扱う産業では、手作業の工程も多く、ヒューマンエラーが事故の引き金となることもあるように思われる。

そういった状況を改善していく上で、6-2-3 で述べた、オンラインのツールを用いて、類似性のある事故事例を分析し、事前対策に反映させていくことは、望ましいと考えられる。

また、特にヒューマンエラーに関しては、作業に携わる者に高い安全意識を有してもらわなければならない[187]-[193]。このような事を考慮した上で、行うべき意識改革と安全教育の活動例を以下に示す[194]-[199]。

- ・ヒヤリハット活動

日常作業の中で事故や災害には至らなかったものの、危険を感じた事象については報告を行い、対策を講じていくことが望ましいと考えられる。直ちに対策をとれないものであっても、その情報を共有化することが望ましい。ヒヤリハット活動を行うことで、危険状態への警戒を継続することができ、危険なものを危険と認識する力が養成される利点が考えられる。

- ・TBM (ツール・ボックス・ミーティング) 活動

職場で行う仕事の打合せのことであり、作業リーダーを中心として作業の内容、注意すべきポイント、役割など作業全般について確認を行う。単なる打合せではなく、相互に意見を出し合い、疑問点はその都度解決を行い、より質の高い仕事ができるように、参加者全員が協力し合わなければならない。

- ・安全パトロール

安全パトロールは、施設内の設備、作業の方法、進め方等の巡察・点検を行うものである。安全パトロールは、責任者による安全パトロールと、所内で担当者を決めて、定期的に行うパトロールを基本とするべきであり、人を変えてパトロールを行うことで、着眼点が広がることを期待できる。また、結果を相互に交換することで、パトロール担当者自身の能力の向上にもつながることが考えられる。内部の担当者によるパトロール以外に、外部の第3者的な立場の人物を加えパトロールを行うことによって、内部の関係者のみでは気づけなかった事や、「当然」として放置されていた危険箇所にも目を向けられることができ、改善方法のアドバイスが得られることが期待できる。

- ・安全当番制度

安全意識を職場全体で共有し高めるためには、個々の意識と技術の向上が必要であると考えられる。安全当番制度は、安全に関する事項の担当を全員が持ち回りで行うことによって、個々の安全に対する意識と知識の向上が図れるとともに、全員が参加意識をもつことで、職場全体の一体感や相互が注意し合えるような雰囲気づくりが可能となる。

前記したような活動を定期的に行い、意識改革と安全教育に努めることは望ましいと考えられるが、同時に ISO Guide 51 に示されるリスク評価を行うことも、視野に入れなければならない[200]。

リスク評価の詳細については、次項の 6-2-4 において示す。リスク評価の手法としては、優先順位付けが挙げられる。これは、危険の大きなものから順次対応することによって、時間の節約や費用対効果のある対策が可能となる。

また、リスク評価の記録は、技術伝承や判断基準の根拠等としても活用することが可能であり、教育的効果も大きいことが報告されている[201]-[207]。このように、意識改革と安全教育の活動、リスク評価を同時に行うことで、様々な効果を得られることが期待できる。

6-2-4 リスク評価を活用した再発防止策と安全性の確保

リスク評価とは、好ましくない状況や事故の発生に対して、発生源や経路、頻度等のデータ等に基づき、それが発生した場合、どの程度の影響が生じるかを評価することである。

リスク評価には、安全を事前に確立するため、新規に導入するもの全般に対して実施する場合と、既存設備に対して事故の再発防止や類似事故の防止を目的とした場合の 2通りがある。

リスク評価は、定期的に行うことが望ましく、さらに、リスク評価で確保した安全性を継続することにも、日々力を注いでいかなければならない問題である。それを行っていかなければ、同種の事故原因による再発防止などを含めて、事故そのものの低減に繋がらない。リスク評価を行っていく過程で留意すべきである例をまとめたものを以下に示す[201]-[207]。

◆ 体制

リスク評価を行うにあたっては、類似の事故情報等を有する第 3 者にも参加してもらうことが望ましい。さらに、リスク評価の結果を周辺住民との意見交換会の際に公表、もしくは、ホームページで公開することで、客観的な意見の集約や当事者では気付かない点の指摘などが期待できる。

◆ 形骸化の改善

リスク評価は、様々な事故情報等を有する者たちが多様な視点から判断し、総合的に行うことが望ましいが、参加メンバーに序列が存在し、下位の者の意見が通らない場合、リスク評価を行うことそのものが形骸化してしまい、結果も曖昧なものになってしまうことが予想される。また、事故対応時等で操業の再開を優先するあまり、十分なリスク評価を実施せずに復旧作業を実施すると、事故の再発を招いてしまうことも考えられる。この状況を改善していく上では、事実に基づいた情報を根拠に、リスク評価を実施できる専任者を設けたり、技術コンサルタントを採用するなどの対応が必要となってくることが考えられる。

◆ 評価結果の更新

リスク評価において、避けるべき事象は日々変化することが想定され、それに対して臨機応変に対応することが望ましいと考えられる。変化を生じさせる要因となるものを以下に示す。

・作業従事者の交代

世代交代による技術的背景をもたない新規作業者の採用、再任用による高齢者の採用を行う場合、個々の技量や作業に対する理解度の適正管理を怠った場合、ヒューマンエラーの増加に繋がる可能性が高い。

・技術の進歩

新規に開発された技術や装置を先陣切って導入する場合、事故情報等が少なく、仕様限界値や故障確率等に関しては、未知数の部分が多く、操業を行いながらの見定めとなる。

・気候や周辺環境の変化

環境の変化(異常気象等)により、仕様限界値を超える場合には、設置・設計段階からの見直しが必要となる。

・取り扱う物質の変化

事業の変更やライフスタイルの変化等により、取り扱う物質が変更もしくは追加となった場合には、その都度、傾向の把握を行い、将来の予測も含めた評価の見直しが必要となる。

また、食品廃棄物等を取り扱う業界において、想定されるべき好ましくない事象を挙げてみると、労働災害、設備損害、環境汚染、長期安定操業への阻害等が考えられる。

このように、要求される安全性の確保を確実に達成し、それらを必要な期間にわたり維持するためには、様々な要因で生じうる好ましくない事象を「事前」に検討し、上述してきたような状況も踏まえて、リスク評価の実施を随時行っていくことが望ましい。

6-2-5 食品廃棄物への理解と協力の促進

前述までにおいて、食品廃棄物を取り扱う場所で発生する、火災・酸欠等の事故を含めた、好ましくない状況への危機管理・リスク管理を行っていくための、事前対策等について述べてきたが、この事前対策を取り入れていく上では、食品廃棄物を取り扱う事業者だけでなく、排出する側にもそれに対して高い関心や安全意識を持ってもらわなければならない。

その理由として、第3章でも述べたが迅速かつ適正な再資源化の推進においては、分別排出によるところが大きく、排出者の側に高い関心や意識がなければ、食品廃棄物の受け入れを行い処理する事業者側での火災・酸欠等の事故を含めた、好ましくない状況の低減には繋がっていかないと思われる。

このように、食品廃棄物等を有効に利用していくには、排出者と受け入れを行い処理する事業者側との双方の連携が必須であり、いかにお互いの理解を得るためのネットワークを構築していくか、も重要になってくる。

また、「食」の流通システムが国際化する中で[208]-[212]、日本の食品廃棄物の再資源化等を含めた実態は、国際的にみれば、どのような実態におかれているのか、を個々が把握しておくことは、これからの循環型社会を構築していく上で、意義深いものと思われる。

食品廃棄物を排出する側の大部分は、家庭であり、その排出過程においては、各国の自然風土に基づく、米食・パン食・肉食・魚食等の食習慣により、多少の差は考えられるが、加工・消費して廃棄する行為は、日本も海外も概ね同じである[213]。

違いがあるとすれば、どのような質でどれほどの量が廃棄されているかという点が考えられる。家庭から排出される廃棄物の多くは、食生活に関わるものであり、食品を購入する際には、期限表示の趣旨を十分考慮して、6-1-3-2 で示したような買い占めや買い過ぎをすることなく、計画的に購入することが基本であり、購入後は、冷蔵庫や食品貯蔵庫内の在庫品をこまめにチェックして消費するように心がけることが必要である。

さらに、食品の食べ残しは、適正な循環型社会の構築を阻害する要因となる。そこで、市場経済の進展とともに失われつつある「もったいない意識」を復活させて、食育基本法を基にした食育教育活動等（図 6-24）を行い[214]-[215]、 unnecessary 食品廃棄物を出さない食生活に再挑戦していくことが望ましい[216]-[222]。

「生」と「食」は切り離すことのできない関係にあり、食育教育活動等を行うことで、個々が「食」について改めて意識を高め、自然からの恩恵やそれに関わる感謝の念を、絶えまなく生活面に生かしていくことが当たり前となる日を期待したい。



図 6-24 銚子市内で行われている食育教育活動（銚子市役所より提供）

また、食品廃棄物を適正に再資源化していく上で、現行の食品リサイクル法においては、地方自治体の具体的な役割が明確に示されておらず、各自治体が定めた廃棄物処理計画に沿って、他の廃棄物と同様に食品廃棄物を処理することになっている。明確な位置づけや役割が規定されていなければ、食品廃棄物を再資源化していく上での、理解や積極的な協力は得られない可能性があるため、この点に関しては改善していかなければならない。

食品廃棄物を単に「廃棄物」として処理することは、比較的容易であるが、再資源化しようとして、その目的の事業を立ち上げようとした場合、食品リサイクル法だけでは

なく、厚生労働省の廃掃法も絡んでくる[223]-[224]。

食品リサイクル法を推進する農林水産省は、主に「育成」を担当する省であり、逆に廃掃法を推進する厚生労働省は「規制」を行う省であると思われる。このように、再資源化を行うにあたっては、数種の法律と各省庁にまたがった許認可が必要となってくる。

しかし、それぞれの場所において、「廃棄物」と「再生可能資源」の定義は曖昧であり、「再利用可能なもの」と「不可能なもの」に分けて定義し、各場所において統一して定め理解と協力を呼びかけるべきであり、再利用可能なものは、廃棄物と呼ぶべきではなく、有価物として区別し廃棄物の枠内に入れるべきではないと思われる。

6-2-6 次世代の要求を満たす持続可能な循環型社会のあり方

人間は目先の利益に対しては、すぐさま飛びつく一方で、身近でないものや、広域災害のようないつやってくるかわからないものに対しては、関心が薄くなってしまいう悪い習慣があるように思われる。

今日において、持続可能な暮らしが難しくなってしまった理由としては、前世代が、悪い習慣の思想の基に、様々な活動や決断を行ってきたことに起因しているのではないかと考えられる。

目指そうとしている循環型社会は、活発な循環が目的ではなく、環境への負荷が小さく、資源消費も小さい持続可能な社会でなければならない。

循環型社会を構築していく上で、単に食品廃棄物等の処理問題や、環境問題を解決することだけを念頭に、再資源化に取り組み始めた場合、効果の薄いものになってしまう可能性が高い。

また、長期的・大局的な視点での検討がなされなかった場合、後になって取組み全体を評価した際に、再資源化を行う過程で環境に悪影響を与えていた、または、経済的持続性に乏しかったといった問題が生じる可能性も高いと考えられる。

上述したような事を、後になって生じさせないためにも、その都度、どの程度の費用やエネルギーの投資が必要であるか、といったことについて冷静に判断を行う必要がある。また、大局的な方向性と取り組みの位置づけを明確化し、分野横断的な事前対策や新しい手法等を整備することも必要になってくると思われる。

例えば、小規模で環境効率が高い循環システムの開発、環境への影響を定量的に評価する手法の開発、利害が異なる者たちが互いに合意形成することができる方法論の確立等が挙げられ、これらを併行して進めていくことが望ましい。

また、6-2-4において、様々な活動を行っていく上では、リスク評価を積極的に取り入れていくべきであると述べたが、循環型社会の構築に対して、現在行われている評価の大部分は、環境・経済の両方の視点から評価を行えていないように思われる。

その理由として、社会性はどのような指標で評価できるのか、という共通認識がないため、評価者によって様々な指標が用いられ、さらに、その指標を定量的に評価することが難しく、多くの場合が定性的な評価で終わってしまうため、評価結果の解釈が問題となってくる。この評価基準についても、今後は細かく定めていかなければならない点である。

循環型社会を構築していく上での持続性とは、「現在の要求を満たしつつ、次世代の要求をも満たすもの」であるべきであり、これを持続していく過程においては、地球の生命維持力に対して、人間がどの程度の負荷を日常的にかけているのか等に対して理解を深めてもらうための、教育活動を行っていく必要性が出てくる。

しかし、こういった活動は、単一の業界のみで広げていくことは難しく、様々な業界が互いに協力しあってネットワークを形成していくことで、最終的に幾千もの力となり、実現が可能となってくるものと思われる。ここまで述べてきたことを踏まえて、産・官・学の連携を視野に入れ、循環型社会への理解を深めていくための活動を行っていくことが重要であると思われる。

6-3 今後のエネルギー政策を踏まえた危機管理・リスク管理への提言

地球温暖化や化石燃料の枯渇化に対処し、循環型社会を実現させるため、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる発電方式等が注目を集め、それを後押しする法律や制度も施行されてきている。

しかし、循環型社会への転換を急ぎ過ぎ、長期的な安全面の検討を行わず、実用化に踏み切った場合には、三重県のごみ固化燃料発電所のような事故[225]を引き起こす可能性が考えられる。

また、導入を行おうとする事業者や住民に対して適切な説明を行わず、適切な普及方法を取り入れなかった場合、普及が円滑に進まず、法律や制度も頓挫してしまう可能性が考えられる。循環型社会構築を視野に入れたエネルギー政策を想定し、第5章の熱危険性評価手法による再生資源燃料の研究を通して得られた知見や結果を取り入れ、それらを普及させていく上で、講じていくべきである「事前対策」を示す。

6-3-1 エネルギー政策の見直しと再生資源燃料を含む再生可能エネルギーへの注目

現在の社会は、石炭や石油等の化石燃料を主としたエネルギーによって、進歩・発展を続けてきている。しかし、それらの化石燃料は、埋蔵量の枯渇化に伴い今後は、価格が上昇していくことが想定されている[226]-[228]。

また、化石燃料は、使用によって二酸化炭素を始めとする温室効果ガスを発生させ、地球温暖化等の環境問題を引き起こす可能性が日本国内でも示唆されている[229]-[232]。

このまま、世界的にエネルギーの大量消費社会が続けば、さらに様々な環境問題を引き起こし、生態系の破壊など深刻な悪影響を地球に与えることになる。こうした問題の解決のためにも、製造・流通・消費の各段階におけるエネルギー消費量の見直しや、循環型社会の構築を踏まえた物質循環の輪の形成を行っていくことが求められている。

特に日本は、高度経済成長期に社会発展を急速に進めるとともに、世界有数のエネルギー消費国となってきている[233]。また、エネルギー資源の大半を海外に依存しており、上述したような状況が発生する中で、新たなエネルギーや発電方法を含めたエネルギー政策の開拓が、今後必須となってくる。

さらに、2011年3月11日に発生した、「東日本大震災」に伴う福島第一原子力発電所の事故を受け「脱原発」の思想も視野に入れ、今まで行ってきたエネルギー政策(表6-6)を見直し[157]-[161]、取り組んでいかななくてはならない状況になってきている。

表 6-6 日本のエネルギー政策と原子力発電所に関わる事故・事件

年	政策	主な事故・事件
1966	東海原子力発電所商業運転開始	
1967	長期エネルギー需給見通しの策定	
1986		チェルノブイリ原子力発電所事故
1995		高速増殖炉もんじゅ ナトリウム漏えい事故
1999		東海村 JCO 臨界事故
2002	エネルギー政策基本法の成立	東京電力事故隠ぺい事件
2003	エネルギー政策基本法の策定	
2004		美浜原子力発電所事故
2005	原子力政策大綱の策定	
2007	エネルギー基本計画（第1次改訂）	柏崎刈羽原子力発電所事故
2010	エネルギー基本計画（第2次改訂）	
2011	エネルギー・環境会議の設置	福島第一原子力発電所事故

東日本大震災以降、特に化石燃料や原子力にかわる新たなエネルギー源として、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーが注目を浴び[234]-[237]、日本政府は、その普及を後押しする政策の導入を行い始めている。それらに関する政策の経緯等については、6-3-2で示す。

現在社会における、人間の生命や暮らしにとって、エネルギーと食糧は1日として欠かすことのできない絶対的なものであり、日本は、これまでと同様に化石燃料や原子力を中心としたエネルギー社会を継続していくのか、それとも、それらから脱却していく

のか、という大きな選択の岐路に立たされてきている。

6-3-2 再生資源燃料を含む再生可能エネルギーを取り巻く法律や制度

化石燃料や原子力に代わる新エネルギーへの転換に対する思想や世論は、東日本大震災以前からも存在しており、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーを普及させるため、日本では、2003年から「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法（RPS法）」に基づいて[238]、それらの利用基準の検討を行ってきた。RPS法の概略を図6-25に示す。RPS法により、政府は、電力会社に対して販売を行う総電力量のうち、ある一定量に関しては、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーで発電を行ったものでまかなうことを義務付けた。

この結果、電力会社は定められた電力量を自ら発電する、もしくは、他社から調達する必要がでてきた。この電力量を毎年計画的に増大していくことによって、それらによる発電の普及を拡大していくことを目標として制度を進めた。

RPS法は、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる発電の普及に期待を込めて進められたこの制度であるが、導入後あまり、それらの普及の進展は見られなかったと報告されている[239]-[242]。想定される理由として、これらに関わる普及速度は、導入義務目標の高さによって大きく左右される。

例えば、2010年における日本の導入義務目標は、1.35%と非常に低い。対して、同じくRPS法による制度を導入している、イギリス、スウェーデン、アメリカのカリフォルニア州は、それぞれ、10%、12.5%、20%という高い目標であった[243]。理想は高く設定するからこそ、それに向かつての努力が自ずと生まれ、意識も高くもてる。しかし、日本のように低い目標値では、それに向かう状況を作り出すことは難しかったのではなかったかと考えられる。

RPS法を基にした制度がうまくいかなかったこと、また、東日本大震災にともなって発生した福島第一原子力発電所の事故による「脱原発」の思想を視野に入れ、当時の菅直人総理大臣は、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーの重要性を改めて強調し、自身の退陣の条件として、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（FIT法）」の成立を提唱した[244]。

その後、FIT法は修正を経て2011年8月26日に国会で成立し、同月30日に公布された。そして、2012年6月末にRPS法を廃止し、FIT法を基にした制度が同年の7月から始まった。RPS法とFIT法の違いとしては、「利用義務量方式」と「固定価格買取方式」という点が挙げられる[245]。

FIT 法を基にした固定価格買取制度 (図 6-26) により、電力会社は、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによって発電された電力を固定価格で 10 ～ 20 年間買い取ることになった。買取の対象となった電力の発電方式については、6-3-3 (自然の力を利用したもの) と 6-3-4 (廃棄物を利用したもの) において示す。

この制度により、発電者は、以前より収益モデルを組むことが比較的容易となり、事業に取り組みやすくなった。この制度の下で、適切な条件で発電設備等を設置した場合、初期投資は必要となるが、一般家庭であっても、RPS 法を基とした制度の際よりは、ある程度の利益を得られることが可能となるってくる。

しかし、こういった制度が生まれても、市民や地域自体が中心になって取り組みを行い推進していかなければ、普及そのものが円滑に進まず、社会にも好影響を与えることは難しいといったことが想定される。

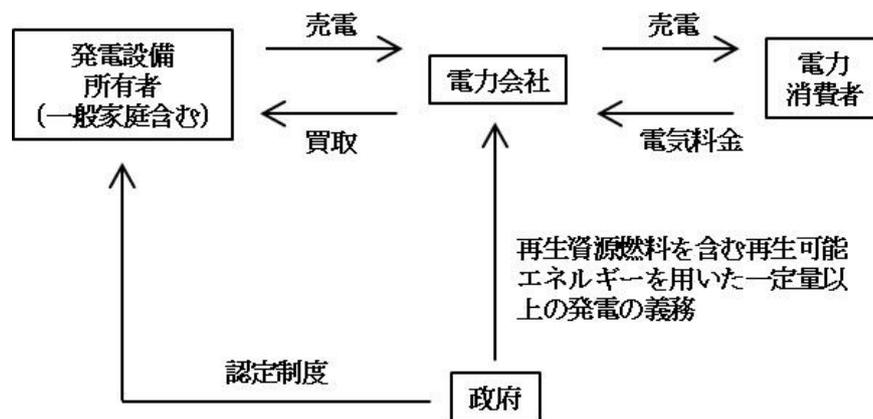


図 6-25 RPS 法の概要

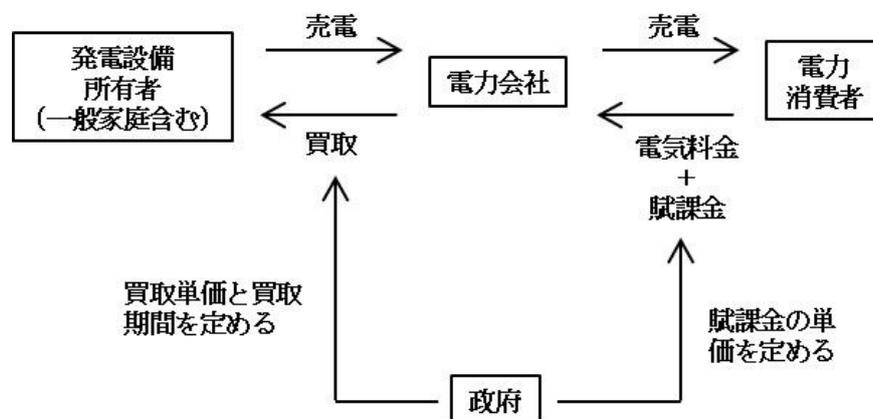


図 6-26 FIT 法を基にした固定価格買取制度

6-3-3 自然の力を利用した発電方式

電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（FIT 法）により、買取対象となった電力の発電方式のうち、主に自然の力を利用して行うものの例を以下に示す。また、それらの長所と短所をまとめたものを表 6-7 に示す。

- ・ 太陽光発電[246]-[250]

太陽は、地球に生存する生物に対して、光や熱等のエネルギーを与えている。日本の場合、一般家庭においては、「太陽熱温水器」、「ソーラーシステム」として利用されている。天候等の自然条件に左右されやすいという問題はあるが、技術の進歩により、改善されつつある。しかし、発電単価が依然割高であり、導入にあたっては、経済的なハードルが存在する。

- ・ 風力発電[251]-[253]

風力発電は、ブレードで風を受けて、発電機を回すことにより、電力を得ている。海上（図 6-27）の場合、陸上と比較して、騒音の問題が少なくなるため、普及の期待がされているが、自然保護を含めた景観対策や漁業補償、また、設置工事の技術的・経済的課題も存在する。

上述したような自然の力を利用した発電方式では、気候条件等に依存せざるをえないものもあるため、発電の出力が不安定となってしまうがちであることが懸念される。このため、現時点では補助的なものとして使用されているケースが多く、安定的な電力供給確保のためには、調整電源や蓄電池との組合せが必要となっている。このような状況を解決していく上で、変換効率や利用率の向上に係わる技術開発を行うことが必要となってくる。

表 6-7 自然の力を利用した各発電方式の長所と短所[246]-[261]

名称	長所	短所
太陽光発電	<ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光の当たる場所であればどこでも設置可能 ・ 規模に関係なく発電効率が一定 ・ 維持管理が容易で、長寿命 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 天候に左右されやすい(技術の進歩により改善されつつある) ・ 大規模発電の場合には広い発電場所が必要 ・ 現時点では、発電単価が高い
風力発電	<ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギー収支が高い ・ 発電単価が安い(さらに安くなる見込みあり) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 騒音や景観破壊等への対応が必要
水力発電	<ul style="list-style-type: none"> ・ 環境破壊が比較的小さい ・ 中小河川や農業用水の利用が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水利権の調整が必要
地熱発電	<ul style="list-style-type: none"> ・ 季節や昼夜に関係なく安定した利用が可能 ・ 日本は世界3位の地熱資源量が有り豊富 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本の設置可能場所は国立公園内にある場合が多く、開発が制限される ・ 温泉地の場合、宿泊業との調整が必要



図 6-27 銚子沖で行われている風力発電

6-3-4 廃棄物を利用した発電方式

日常生活から排出されてくる廃棄物に対する処理は、「焼却」もしくは「埋め立て」が主流であったが、循環型社会への転換が望まれる中、発生の抑制と再資源化への向上が求められてきている。廃棄物を利用した発電方式としては、再資源化できないもののみを焼却し、その際に発生する熱エネルギーを電力に変換し利用する方式や、廃棄物に対して化学変化等を施しエネルギーを取り出す方式も存在する。次にその例を示す[262]-[266]。

- ・直接燃焼

廃棄物を直接燃焼させ熱利用あるいは発電する技術であり、それ専用の焼却炉やボイラーの開発も行われている。例えば 2010 年にオープンした兵庫県にある「エコパークあぼし」[267]では、併設されている焼却施設で廃棄物の焼却を行い、その際に発生するエネルギーを利用して様々な施設を運営している。

- ・ガス化

廃棄物を空気等で酸化（化学変化）させて生成ガスを製造する技術である。生成ガスの用途としては、補助燃料としての熱利用等がある。また、廃棄物をメタン発酵（生物変化）させ、同様の手順で生成ガスを製造する技術も存在する。

- ・燃料化

廃棄物の中から可燃分の選別を行い、粉碎・粒度調整・圧縮成型等を行い燃料化する方式。選別や含有水分等の調整を行った後燃焼させるため、直接燃焼と比較して、燃焼時における熱損失等が少ない。

どんなに時代が変化しようとも、社会が存在し人が生活し続ける限り、一定量の廃棄物が日々排出され続けることは確かである。このことから、6-3-3 で述べた自然の力を利用して発電する方式と比較してみても、発電に用いるエネルギー源は安定している。

また、廃棄物を利用した発電方式は、既存の火力発電と同じ施設を用いることが可能であることも、利点として挙げられる[268]-[269]。

これらの理由から考えても、廃棄物を利用した発電方式は、日常生活から排出される廃棄物の処理と、新たなエネルギー源の確保の両側面を満たせられると思われるため、今後、循環型社会を構築していく上で重要な役割を果たしていくことが考えられる。6-3-3と6-3-4で示してきたような再生資源燃料を含む再生可能エネルギーを普及させ利用していく上では、「良い利用」と「悪い利用」の2通りがある。

良い利用とは、環境・社会・経済に対して問題がなく、持続可能な利用であり、悪い利用とは、目先の事のみにとらわれ、循環型社会の構築を考慮せず資源や費用を度外視した利用である。悪い利用にならないためにも、費用対効果等のベンチマーキングを行いながら進めることが望ましい。

これを行うことで、導入可能な目標値の算出がより可能となり、6-3-2で示した固定価格買取制度を基盤とした導入の拡大が図られ、新たな雇用先の創造や経済性の向上につながることを予想される。

6-3-5 リスクコミュニケーションを活用した状況の改善と相互理解

2003年に発生したごみ固形化燃料（Refuse Derived Fuel）の爆発事故[225]を踏まえ、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる発電施設や設備等を設置もしくは増設していく上では、利害関係者間において、事前に適切なリスクコミュニケーション[270]-[271]を行っていくことは、欠かせないことである。

リスクコミュニケーションは、米国研究評議会（National Research Council）の定義[270]では「リスクの評価者や管理者、消費者、産業界、学界等に関係する個人、集団、組織間で行われる、リスクに関する情報および意見を相互に交換するプロセス」とされている。

環境省の化学物質のリスクコミュニケーションの定義[271]では「化学物質による環境リスクに関する正確な情報を市民、産業、行政等のすべての者が共有しつつ、相互に意思疎通を図ること」とされており、一方的な情報発信や利害関係者（ステークホルダー）の説得等を目的とするものではないとされている。

また、事故や環境汚染等の問題発生後に情報共有、意思疎通を行おうとする行為については、クライシスコミュニケーションと定義され、リスクコミュニケーションとは区別すべきであると報告されている[272]-[273]。次に、リスクコミュニケーションを行っていく上で重要であるものを示す[274]-[279]。

- ・リスクコミュニケーションを理解した上での体制整備
トップを含め、事業を行おうとする者全てが、リスクコミュニケーションの重要性を理解し、組織内の体制整備（担当者の役割・責任の明確化等）を行う必要がある。
- ・明確で実現可能な目標の設定
リスクコミュニケーションをどのような形式で実施するか等を決め、スケジュール調整を行う。その上で、利害関係者の意見を取り入れながら明確で実現可能な目標を設定する。
- ・リスクコミュニケーションの相手の選定
事業内容と関連する対象地域の推定を行う。この際、事業所等を立地させる自治体のみではなく、不安が生じ得る範囲の自治体等も対象の範囲とすることが、望ましいと考えられる。そして、行政、市民団体、農協や漁協等も含め利害関係者に漏れがないよう慎重に選定を行う。

前述したようなことを円滑に行っていく上で、生じている課題や状況に対して適切なリスクコミュニケーション手法を選択することが求められる。例えば、特定の課題に対して説明や意見交換をするための会合、懇談会やプレスリリース、インターネットでの公表、施設見学会等様々な手法が挙げられるが、一つの手法にこだわらず、随時修正と選択を行いながら進めていくことが望ましい[280]-[283]。

さらに、リスクコミュニケーションの終了後に、参加者に対して適切な理解が得られたか等についてアンケート調査を行い、その調査結果を、次のリスクコミュニケーションを行う際の改善に活かしていくことも望ましい[284]-[286]。

参加者の意見をもとに継続的な改善が図られることにより、関係者全員の課題に対する理解と意識の向上に繋がる。しかし、リスクコミュニケーションにより意見や認識の違いが、必ずしも全て合意されるわけではなく、また、関係者の対立的な関係が改善されることも限らない[287]-[288]。

そのような場合であっても、リスクコミュニケーションの過程で得られた知見は、今後の活動等を行う上で、対立の解消・緩和や信頼関係の確立に繋がることが想定される。そのため、継続的にリスクコミュニケーションを行い、情報の適切な共有化に努めてい

くことが望ましい。

6-3-6 地域住民を主体とした普及計画

再生資源燃料を含む再生可能エネルギーを普及させるための制度等を導入する際には、その主体が地域社会であり、地域づくりに繋がることを前提に設定すること望ましいと報告されている[289]-[293]。

エネルギー問題の基本的な方向性や政策を主導とするのは政府であり、管理・運用は民間のエネルギー会社が主体となって行っている。しかし、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーは、地域に分散している資源を一か所に集積し(図 6-28)、用いることが前提となってくることが想定されるため[294]-[300]、その地域が主体となってエネルギーを作り出していくことになる。

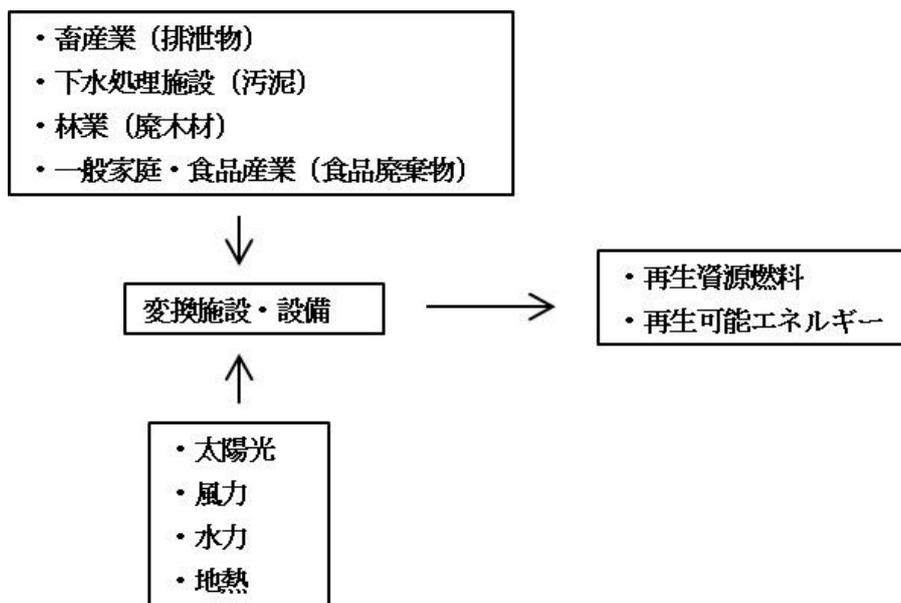


図 6-28 エネルギー資源の集積・変換

地域住民や自治体が主体となっていくことで、それぞれに売電収入等が入り、新たな産業や雇用も生まれ、地域が活性化し、利益が還元されることになる。特に、過疎化や高齢化によって疲弊している地域においては、地域課題を解消しながら、若手人材の確保や経済発展が可能となる。それらの政策を取り入れ地域づくりを行っている、「環境モ

デル都市」や「バイオマスタウン」等については、6-3-6-1において示す。

6-3-2で示したように、賦課金や電気料金の値上がり等により、当面は全体での負担が求められることが想定される。この費用を「重荷」ととるか、それとも「投資」ととるかによって、普及の速度も変化が見られるようになると思われる。

地域と無関係な大企業が発電所や事業所等を建設し、収益を吸い上げていく方式のみでは、負担感や不満が生じやすいが、地域に利益が還元され、原子力発電所の新規増設の低減につながるのであれば、ある程度の負担の受け入れは可能であると思われる。

特に、東日本大震災および福島第一原子力発電所の事故を契機に、危機管理・リスク管理への関心が高まっており、それらの要素の1つである「事前対策」を視野に入れた、安心・安全な地域づくりの実現が自治体の大きな課題となっている。

その中でもエネルギー自給率の向上は、大きな課題となってきていると思われるため、地域内の資源を有効利用し、被災し失業してしまった方々への新たな雇用先を作り出す上でも、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーを普及させ循環型社会を構築していくことは有効である。

しかし、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる発電は、循環型社会の構築への具体策となり得るという点では、高く評価できるが、現段階では未だ発展途上の産業であり、既存の化石燃料を用いた発電産業と比較すれば、熟成の進んだ産業であるとはいえないと思われる。

再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる産業等を進める上で、安易な地域振興として位置づけると、導入を行う地域の住民に対して混乱を与えてしまうことになる。

自治体側もこのような混乱や不要なトラブルを避けるため、6-3-5で示したようなリスクコミュニケーションを定期的に行い、専用の相談窓口やコールセンターを設けるなど、営利目的でなく中立的な立場で、適切な情報提供ができる体制づくりを行っていかねなければならない。

また、地域住民から依頼があれば現地に専門家を派遣し、建築構造を踏まえた設置基準や設置の可否等を個別に説明できるようにしておくことも重要である。

6-3-6-1 再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる地域づくりの事例と今後の課題

再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる地域づくりの構想は、以前からも存在しており、それらは「環境モデル都市」や「バイオマスタウン」等と呼ばれている。

上述してきた構想は、2000年代前半から動き出した自治体レベルの取り組みであり、政府が募集をかけ、それに応募した自治体は自ら構想書を作成し、政府の選定を受けた

のち取り組みを行うことになっている。表 6-9 に 2013 年現在で環境モデル都市として選定されている地域を示す[301]。

表 6-9 環境モデル都市一覧 (2013 年 3 月時点)

地方区分	県名	市町村名
北海道	北海道	帯広市
		上川郡下川町
北関東	茨城	つくば市
南関東	東京	千代田区
	神奈川	横浜市
甲信越	長野	飯田市
	新潟	新潟市
北陸	富山	富山市
東海	岐阜	可児郡御嵩町
	愛知	豊田市
近畿	京都	京都市
	大阪	堺市
	兵庫	神戸市
	兵庫	尼崎市
山陽	岡山	英田郡西粟倉村
四国	愛媛	松山市
	高知	高岡郡檜原町
北九州	福岡	北九州市
南九州	熊本	水俣市
沖縄	沖縄	宮古島市

例えば長野県飯田市では、「再生可能エネルギーの導入による持続可能な地域づくりに関する条例」を2013年4月に施行した[302]。この条例は、地域住民と地域住民の利益に対して配慮できる企業が協同で、地域に存在する資源を使った発電や熱利用などを行う。そして、得られた利益を地域が抱える課題に使用することで、住みよい地域づくりを進めることを目的としている。

普及を促進させるため、導入支援審査会を設置し、助言や補助金の交付や資金の貸付等も行っている。再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる事業は、様々な課題を抱えており、経験のない自治体や地域住民が導入することは困難となることが想定される。

第3章において、災害時における自治体間の広域連携の重要性について述べたが、平常時にあってはこういった部分でも互いに連携を行い、よりよい循環型社会を目指した地域づくりを互いに連携しあい行っていくことが望ましい。

また、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーは、地域によってその基盤となる資源が異なってくる。例えば、木材系の資源が豊富な地域、第4章で示したような食品廃棄物が大量に排出される地域等の様々な地域があることが想定される。

「環境モデル都市」や「バイオマスタウン」等による地域づくりの構想の第一歩として、身の回りの地域にどのような資源がどれくらいの規模で存在しているか、を把握することから始まると思われる。そして、以下のような点に考慮しながら、計画を進めていくことが望ましい。

- ・ 経済的持続可能性

事業として継続でき採算がとれることが望ましい。この点を打開できなければ、コストや使い勝手等の部分で、競合する化石燃料等に遅れをとってしまう。

- ・ 環境的持続可能性

エネルギー収支や温室効果ガス収支がよく、大気汚染、水質汚染、土壌汚染などの環境負荷が少ないことが望ましい。

- ・ 社会的持続可能性

土地利用をめぐる紛争や労働問題等に配慮し、他の地域に対して啓発効果のあるものとしていかなければならない。

前述したように、長野県飯田市では、地域住民が主体となって、普及を推進し、それを通じて得られる利益を地域の発展に役立てていくという共通の理念に基づいて条例を策定している。「環境モデル都市」や「バイオマスタウン」等の構想の作成は市町村であるが、地域住民全体のプランであるため、構想づくりの段階から地域の関係者が持っている課題を持ち寄ることが重要である。

上述したような条例が全国的に広がっていけば、6-3-2 で示した固定価格買取制度を活かした地域づくりや地域再生が可能となってくることが想定される。また、これまではあまりエネルギー政策等に縁がなかった、生協、農協、森林組合、漁業組合、温泉組合、地域商工団体、労働組合、医療団体、女性団体等の団体は、全国各地域に支部があり、組合員や会員が多いため、これらの団体が普及の担い手になれば、さらに大きな力となり、それぞれの団体に対しても利益がもたらされる。このように住民が変われば、地域も変わり、地域が変われば、やがて国も変わっていくことが予測される。

6-3-7 基準の見直しと未利用エネルギーの利用

6-3-6-1 において、環境モデル都市等の重要性について述べてきたが、特に、既存の都市部において、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーの普及や利用を考えた場合、エネルギーの使われ方を分析することが重要となってくる[303]-[304]。

例えば、住宅街、オフィス街、大型店（ショッピングモール）や大規模工場の密集地では、それぞれエネルギー利用率や利用時間帯等に差が生じてくることが想定される。このようなことを踏まえて、エネルギー需要の形態を適切に分析し、どのような政策が適しているのかを分析していく必要がある。また、都市によっては、日照権や景観規制、文化財保護地区等によってデザインや設置可能な設備が限られてくる[305]-[307]。

そこで上述したような地区に限っては、補助金の交付や資金の貸付等を実施するなどの対応が必要となってくる。また、人が住まないような僻地に建設される設備や施設であっても、超高層ビルと同様の厳しい耐震基準が設定されており、これにより、事業を進めることができず撤退してしまうといった事例が報告されている[308]。

このため、人が住まない僻地等の場所については、一律同じ基準を当てはめるのではなく、柔軟に、どこまでの基準を求めるかの適切な線引きが必要となってくる。さらに、大都市部では、駅やビルの下に地下街を有している場所が多く、そういった場所では、いままで再生資源燃料を含む再生可能エネルギーの候補として挙げられず、利用されてこなかった様々な未利用エネルギーについても利用と普及を進めていくことが望ましいと報告されている[309]-[313]。表 6-10 に未利用エネルギーについてまとめたものを示す。

表 6-10 未利用エネルギーの例

エネルギー源	概要
生活排水の熱	生活排水や工業用水は、比較的高い温度を有しているため利用度の高い熱源である
工場からの排熱	生産工程で排出される高温の排熱を熱源として効果的に利用可能
送電線からの排熱	超高压送電線を冷却する際に生じる、排熱を熱源として効果的に利用可能
変電所からの排熱	変圧器の冷却時の排熱や受変電室内の排熱は安定しているため、効果的に利用可能
その他の排熱	冷暖房排熱や換気排熱なども熱源として利用可能
雪氷の冷熱	雪を貯蔵して、野菜の保存庫や夏季の冷房の熱源として利用可能
河川水・海水の熱	河川水や海水の温度は、夏は外気温より低く、冬は高いため熱源として効果的に利用可能

例えば、地下街等では地上にある施設等からの排熱や地下鉄等の送電線からの排熱を利用してヒートポンプとして活用していくも重要な方法であると報告されている[314]-[316]。また、表 6-9 で示したように、東日本大震災で大きな被害を受けた東北地方では、環境モデル都市の普及があまり進んでいないため、上述したような政策を取り入れ、都市の再生と並行して、設備の設置や配管等を行っていく価値は十分あると思われる。

特に東北地方は、雪の多い地方であるため、地域特性を活かし表 6-10 に示すような、雪を利用した冷熱[317]-[318]によるエネルギー利用を行っていくことも普及を推進していく上で望ましいと思われる。

6-3-8 循環型社会を構築していく上での今後のエネルギー政策への展望

再生資源燃料を含む再生可能エネルギーは、適切に使用すれば持続可能な循環型社会を構築していく上で有効であると思われる。また、普及を後押ししていく上では、明確な目標の設定や各種法律や制度の充実が求められる。

6-3-2 で示した現行の電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（FIT 法）を基盤とした、固定価格買取制度では、財源を賦課金として電気料金に上乗せして徴収し、全ての国民に対して負担の依頼を行い、普及の推進を計る構造となっている。

以上のことから、大企業主体による施設や設備の建設ばかりが先行した場合、利益が大企業だけに入って、地域に還元されず、国民は負担するだけの形となり、世論が批判に傾き制度そのものが早期に頓挫してしまう可能性が出てくる。

また、現時点では、目標とする将来的な目標値の設定があまり明らかとなっていない点も課題として挙げられる。さらに、送電線を含めた電力系統への接続先の確保が最重要課題となってくることが考えられる。法令文では、「電気の円滑な供給の確保に支障が生ずる恐れがある場合には接続を拒否できる」との規定（第 5 条）があり[244]-[245]、電力会社が毎年の買取枠の制限を行った場合、普及が進まないことが想定される。

再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる、発電施設や設備等を導入しようとする地域住民や事業者は、買取価格や買い取り期間が途中で変化すると、毎年の収入を予測することが難しくなってくるため、長期間の安定的買取条件を提供することが求められる。

現行の固定価格買取制度では、こうした買取条件について明確に定めておらず、経済産業大臣が毎年度決めることになっている。再生資源燃料を含む再生可能エネルギーに関する事業は、計画を始めてから運転開始までに、数年を要するものもあるため、運転開始の1年前に買取条件がわかるということは、最終的な収入見込みを試算できるのも、その段階となってくることが想定される。このため、買取価格に変動が生じると、場合によっては、収入見込みが当初のものよりも少なくなり、運転開始直前で断念せざるをえない可能性が出てくる。

固定価格買い取り制度は、始まったばかりの制度であり、今後様々な問題が持ち上がってくることが考えられるため、その都度検討していかなければならないと考えられる。

また、法律や制度上の問題点を解決していく上では、幅広い分野に渡る専門家の相互協力が欠かせないものである。再生資源燃料を含む再生可能エネルギーの専門家は、その大部分が、理系出身であると言われているが、これらに関わる事業には、既存の理工系の分野だけでなく、政治学・経済学・社会学といった、社会科学に関わる分野や文理

融合型の新たな学問体系である、「危機管理・リスク管理学」の知識も欠かせないと思われる。それらの知識を有する専門家が、様々な角度から再生資源燃料を含む再生可能エネルギーに関わる評価試験等（図 6-29）を行い、今後の政策改善に対して、積極的な関わりを持っていくことが重要であると思われる。



図 6-29 廃食油混合再生資源燃料の危険性評価試験
(消防研究センター・Ecole des Mines d'Ales・千葉科学大学)

21 世紀は、持続可能な循環型社会を構築する時代であり、一人一人がそれに対して高い関心と意識を持ち、自立的に発展し、それに向かって転換するような状況をつくりだしていかなければならない。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おり、それらを有効に活用し、発揮していければ、「脱原発」を含め、世界に誇れる持続可能な循環型社会の実現も十分可能であると思われる。

参考文献

- [1] 防災法研究会, “災害対策基本法解説”, 近代消防社 (1977)
- [2] 大矢根淳, “社会学的災害の視点被災生活の連続性と災害文化の具現化”, 年報社会学論集 5 pp.141-142 (1992)
- [3] R.B. Gallagher, “Risk management : New Phase of Cost Control”, Harvard Business Review Vol.34 (5) pp.75-86 (1956)
- [4] 亀井利明著, “危険と安定の周辺 リスクマネジメントと経営管理”, pp.87-95, 同朋社 (1978)
- [5] 亀井利明著, “危機管理論-企業危機とリスクマネジメントの理論”, 中央経済社 pp.130-135 (1984)
- [6] 亀井利明著, “危機管理とリスクマネジメント”, 同文館出版 pp.85-90 (1997)
- [7] L.S. Paine, “Managing for Organizational Integrity”, Harvard Business Review pp.106-107 (1994)
- [8] E. Waring,” Managing Risk”, Cengage Learning EMEA pp.14-15 (1998)
- [9] アンダーセン著, “図解リスクマネジメント”, 東洋経済新報社 (2001)
- [10] 国立天文台編, “理科年表平成 21 年”, 丸善 pp.328-350 (2008)
- [11] 和泉正哲, 牧瀬研二, 桜井信, “地震をうけた都市ライフラインシステムの被害復旧・機能回復過程に関する研究”, 日本建築学会東北支部研究報告集 (41) pp. 205-208 (1983)
- [12] 北浦勝, 宮島昌克, 池本敏和, “日本海中部地震によるライフライン構造物の被害と震災復旧”, 金沢大学工学部紀要 17(1), pp.43-50 (1984)
- [13] 能島暢呂, “ライフライン被害と災害連鎖”, 土木学会誌 81(1) pp.47-48 (1996)
- [14] 檜崎正也, “阪神・淡路大震災によるマンションのライフライン被害と住民の対応”, 人間と生活環境 5(1) pp.16-22 (1997)
- [15] 山崎文雄, “災害時におけるライフライン系の挙動”, 計測と制御 36(1) p.21-24 (1997)
- [16] 佐野祐一, オルークトーマス, “水道パイプライン地震被害と恒久地盤変位の相関分析”, 地理情報システム学会講演論文集 7 pp.9-13 (1998)
- [17] 川原啓佑, “防災対策の盲点「水・ライフライン」分散型・地下水自営水道で「水の湧星」ルネッサンス”, 日経研月報 (315) pp.26-31 (2004)
- [18] 細井由彦, “上下水道施設に求められる信頼性”, 電気学会研究会資料 pp.1-6 (2011)
- [19] 国土地理院, <http://www.gsi.go.jp/index.html> 2013 年 5 月

- [20] 震度データベース検索, http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/ 気象庁
2013年5月
- [21] 島崎邦彦, “完新世海成段丘の隆起とプレート内およびプレート間地震”, 月刊地球
2 pp.17-24 (1980)
- [22] 江口孝雄, “日本海溝におけるプレート間相対運動”, 日本地震学会地震 33(1),
pp.95-97 (1980)
- [23] 宮下芳, “プレート間巨大地震後の応力緩和過程と地表変位パターン”, 日本地震学
会 地震 36(4) pp.541-550 (1983)
- [24] 気象庁, 2011年03月11日14時46分 三陸沖 M 9.0,
<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/mech/cmt/fig/cmt20110311144618.html> 2013年
5月
- [25] 総務省, 東日本大震災に関する主な取組について <http://www.soumu.go.jp/shinsai/>
2013年5月
- [26] 復興庁, 全国の施設別の避難者等の数, <http://www.reconstruction.go.jp/topics/>
2013年5月
- [27] 内閣府, “平成25年版防災白書”, 佐伯印刷 (2013)
- [28] 経済産業省商務情報政策局, “事業継続計画 (BCP) 策定ガイドライン 高度IT社会
において企業が存続するために”, 経済産業調査会 (2005)
- [29] 丸谷浩明他著, “事業継続計画(BCP) 策定ガイドライン 高度IT社会において企業
が存続するために”, 日科技連出版社 (2006)
- [30] KPMG ビジネスアシュアランス著, “事業継続マネジメントの構築と運用の実践
事業継続計画 (BCP) の上手な作り方”, 日科技連出版社 (2006)
- [31] 昆正和著, “実践 BCP 策定マニュアル事業継続計画の考え方と作り方”, 九天社
(2008)
- [32] ムーアパット, “海外事例 災害等発生時での事業継続計画:戦略的 FM 機能”, JFMA
current (45) pp.10-13 (2000)
- [33] 北後明彦, 木本勢也, “観光地に立地する宿泊施設の災害時における事業継続計画に
関する研究”, 神戸大学都市安全研究センター研究報告 10 pp.159-167 (2006)
- [34] 指田朝久, “カトリーナ災害と事業継続地域安全学会梗概集”, (18) pp.53-56 (2006)
- [35] 松田均, “中小企業の新たな災害対策中小企業 BCP (事業継続計画) 策定運用指針の
普及について”, 中小企業と組合 61(5) pp.10-15 (2006)
- [36] 丸谷浩明, “セミナー 事業継続計画が災害時の経営危機を回避”, 日本経済研究セン
ター会報 (953) pp.52-55 (2007)

- [37] 森川理奈, 池田浩敬, “中小企業における地震災害リスクを対象とした事業継続計画 (BCP) 導入阻害要因の分析”, 地域安全学会梗概集 (20) pp.37-40 (2007)
- [38] 近代消防, “数字で見る消防防災 (37) 東日本大震災に関する調査 (帰宅困難) の結果”, 近代消防 49(7) pp.124-126 (2011)
- [39] 廣井悠, 山田常圭, “東日本大震災における首都圏の帰宅困難者に関するアンケート調査 : (その 1) 地震後の帰宅状況 (東日本大震災, 都市計画) ”, 日本建築学会 学術講演梗概集 pp. 873-874 (2011)
- [40] 山田常圭, 廣井悠, “東日本大震災における首都圏の帰宅困難者に関するアンケート調査 : (その 2) 意志決定のための情報”, 日本建築学会 学術講演梗概集 pp. 875-876 (2011)
- [41] 堤一憲, “東日本大震災における首都圏の帰宅困難状況を踏まえた企業の帰宅困難者対策”, スタッフアドバイザー (257) pp.42-47 (2011)
- [42] 内閣府, 南海トラフ巨大地震対策,
<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/index.html> 2013年5月
- [43] 内閣府, 首都直下地震対策 <http://www.bousai.go.jp/jishin/index.html> 2013年5月
- [44] 村上朋子, “福島事故後の主要国の原子力開発動向と原子力産業の展望”, 金属 81(10) pp.810-816 (2011)
- [45] 週刊朝日, “福島ルポ 原発施設の「内外」、避難指示圏の「内外」、避難民は、作業員は”, 朝日新聞出版 116(18) pp.134-136 (2011)
- [46] 青柳長紀, “日本のエネルギー・原子力発電の問題点 福島第一原発事故が示した日本のエネルギー・原子力政策の重大な欠陥”, 日本の科学者 46(10) pp.1314-1320 (2011)
- [47] 青水司, “福島原発震災への道 原子力発電技術の問題性”, 市民の科学(5) pp.115-132 (2012)
- [48] 後藤政志, “原発設計技術者が語る原発事故と安全性”, 技術倫理研究 9 pp.79-107 (2012)
- [49] 高橋若菜, 渡邊麻衣, 田口卓臣, “新潟県における福島からの原発事故避難者の現状の分析と問題提起”, 宇都宮大学国際学部多文化公共圏センター年報 (4) pp.54-69 (2011)
- [50] 黒岩哲彦, “震災避難者に対する行政の対応の問題点”, 法学館憲法研究所報 (6) pp.17-23 (2012)

- [51] 厚生労働省保険局保険課, 厚生労働省保険局国民健康保険課, 厚生労働省保険局高齢者医療課, “東日本大震災に係る警戒区域、避難指示区域等の見直しに伴う取扱いについて”, 週刊国保実務 (2810) pp.35-33 (2012)
- [52] 日本原子力産業協会, “福島原子力発電所の状況”,
http://www.jaif.or.jp/ja/fukushima/fukushima-npps_status.html 2013年5月
- [53] 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会, “最終報告”,
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/post-2.html> 2013年5月
- [54] 武藤清, “原子炉の耐震問題と第2回万博地震工学会議”, 建築雑誌 72(851) (1957)
- [55] 大築志夫, “耐震設計における重要な問題建築雑誌”, 75(885) pp.329-332 (1960)
- [56] 柴田碧, “原子力発電所の耐震設計 10年のあゆみ生産研究”, 20(8) pp.388-398 (1968)
- [57] 秋野金次, “原子力黎明期の耐震問題”, 日本原子力学会誌 37(1) pp.36-42 (1995)
- [58] 橋本真佐男, “原発は地震に耐えられるか(2)若狭の原発の耐震性は確保されているか耐専スペクトルともんじゅの耐震性の問題点”, 原子力資料情報室通信 (416) pp.12-16 (2009)
- [59] 立石雅昭, “原発の耐震安全性を考える柏崎の教訓を踏まえて”, 都市問題 100(11) pp.82-88 (2009)
- [60] 経済産業省, “東日本大震災 関連情報”, <http://www.meti.go.jp/earthquake/> 2013年5月
- [61] 原子力規制委員会, “東日本大震災の影響について”,
http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/earthquake_index.html 2013年5月
- [62] International Atomic Energy Agency, “The International Nuclear and Radiological Event Scale User’s Manual 2008 Edition”, INES pp.1-13 (2008)
- [63] 加藤秀俊, “「情報恐慌」のなかの人間 疑心暗鬼の情報化社会で起こったもの”, エコノミスト 52(47) pp.160-166 (1974)
- [64] 廣井脩, “情報化社会における危機管理は如何にあるべきか”, BE 建築設備 54(9) pp.25-30 (2003)
- [65] 森光義昭, “情報化社会の課題”, 近畿大学九州短期大学研究紀要 (34) pp.45-56 (2004)
- [66] Twitter, <https://twitter.com/>, Twitter, Inc. 2013年5月
- [67] Facebook, <https://www.facebook.com/>, Facebook, Inc. 2013年5月
- [68] 吉次由美, “東日本大震災に見る大災害時のソーシャルメディアの役割: ツイッターを中心に”, 放送研究と調査 61(7) pp.16-23 (2011)

- [69] シュナックジェフリー, 竹中万紀子, “東日本大震災でソーシャルメディアが果たした役割 Twitter から読む災害医療の現場”, エルゼビアジャパン ミクス 39(6) pp.30-33 (2011)
- [70] 加納寛子, “東日本大震災における Tweet Sentiments による発話分析”, 日本教育情報学会年会論文集 (27) pp.26-29 (2011)
- [71] You tube, <http://www.youtube.com/>, Youtube, Inc. 2013 年 5 月
- [72] 樋地正浩, “震災時の情報システムの利用に関する一考察”, 電子情報通信学会技術研究報告. IA, インターネットアーキテクチャ 111(81) pp.31-36 (2011)
- [73] 佐々木俊尚, “ソーシャルメディアは震災対応にどう影響を与えたか”, 現代の図書館 49(3) pp.159-164 (2011)
- [74] 梅島彩奈, 宮部真衣, 荒牧英治, 灘本明代, “害時と平常時 Twitter におけるデマとデマ訂正ツイートの特徴分析”, 電子情報通信学会技術研究報告. DE, データ工学 111(361) pp.59-64 (2011)
- [75] 荻上チキ, “検証東日本大震災の流言・デマ”, 光文社 (2011)
- [76] H, Koseki, X.R, Li, M.S. Mannan, “Damage to chemical and oil complexes following the 2011 Tohoku earthquakes”, Loss Prevention Bulletin, Issue 226, pp.12-15,2012
- [77] 朝日新聞, 2011 年 3 月 14 日 朝刊
- [78] 復興庁, 東日本大震災における震災関連死の死者数,
<http://www.reconstruction.go.jp/topics/2533125510.html> 2013 年 5 月
- [79] 村上ひとみ, 柏原一樹, “2011 年東北地方太平洋沖地震に対する津波避難行動と交通手段の問題 : 名取市におけるアンケート調査”, 地域安全学会梗概集 (29) pp.67-70 (2011)
- [80] 関澤愛, “震災時の一斉避難・集団行動に起因する問題を考える:ビル避難から帰宅困難問題まで”, 月刊フェスク(366) pp.2-7 (2012)
- [81] 廣瀬輝夫, “東日本大震災への医療介護の対応”, ジャパン・メディカル・ソサエティ (174) pp.5-16 (2011)
- [82] 消防庁, “災害時要援護者の避難支援対策の調査結果”, 月刊障害者問題情報 (337・338), pp.49-51 (2011)
- [83] 永田久美子, “被災した認知症の人を支えるケア 生きる力と新しい暮らしを見守りながら”,臨床作業療法 8(4) pp.343-346 (2011)
- [84] 川内規会, “震災時における聴覚障害者の情報授受の課題 : 人と人との関わりとコミュニケーションの視点から”, 青森県立保健大学雑誌 12 pp.11-19 (2011)

- [85] 石井太, “日本の人口の将来 (講演会抄録 2011年度連続研究講座: 超少子高齢化社会ニッポン: 私たちはいかに生きるか)”, 現代史研究 (8) pp.187-203 (2012)
- [86] 千田睦美, “避難所・仮設住宅での高齢者たち”, 高齢者虐待防止研究 8(1) pp.20-22 (2012)
- [87] 服部静香, “アニマルセラピーについて”, 大阪府立大学総合情報センター年報 4 pp.86-89 (1998)
- [88] 小田切敬子, “地域でのアニマルセラピーの実践”, 公衆衛生 69(12) pp.953-957 (2005)
- [89] 吉野功, “ペットから家族の一員へ現代ペット事情”, 国民生活 (12) pp.11-13 (2009)
- [90] 内藤理恵子, “ペットの家族化と葬送文化の変容”, 宗教研究 85(1) pp.151-173 (2011)
- [91] 植竹勝治, 大塚野奈, 長田佐知子, 金田京子他, “特別養護老人ホームでの動物介在活動に繰り返し参加した飼い犬のストレス反応”, 日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌 43(4) pp.192-198 (2007)
- [92] 丸山直紀, “教養講座 災害時における国と被災自治体との連携(1) ハリケーン・カトリーナを例に自治実務セミナー”, 45(4) pp.32-36 (2006)
- [93] 丸山直紀, “教養講座 災害時における国と被災自治体との連携(2)ハリケーン・カトリーナを例に自治実務セミナー”, 45(5) pp.34-37 (2006)
- [94] 石田和敏, “災害時における地方自治体との連携について 東南海・南海地震への備えと四国防災トップセミナー”, 河川 66(9) pp.48-53 (2010)
- [95] 福井正史, “防災通信システムの信頼性”, 日本信頼性学会誌 信頼性 23(4) pp.348-356 (2001)
- [96] 藤野義之, 浜本直和, 蓑輪正, 鈴木龍太郎, 田中正人, “地上/衛星共用携帯電話システム”, 電子情報通信学会技術研究報告 衛星通信 108(357) pp.13-16 (2008)
- [97] 及川洋, “災害に備えた石油の安定供給に向けて”, 時評 54(2) pp.90-97 (2012)
- [98] 丸谷浩明, “中小企業への事業継続計画 (BCP) 普及の実情と今後の課題”, 地域安全学会梗概集 (24) pp.17-20 (2009)
- [99] 岡田斎, “日本における事業継続計画 (BCP) の普及プロセス”, 広島経済大学経済研究論集 35(4) pp.25-35 (2013)
- [100] 内閣府 事業継続計画策定・運用促進方策に関する検討会, “東日本大震災を踏まえた企業の事業継続への取組みに関する提言”, 労務事情 49(1236) pp.28-31 (2012)
- [101] 白橋賢太郎, “東日本大震災の教訓と今後の BCP のありかた”, 電気協会報 (1047) pp.12-17 (2012)

- [102] 柴田慎士, “病院における事業継続計画(BCP)策定のポイント:東日本大震災を踏まえて”, 医学書院 病院 71(12) pp.960-963 (2012)
- [103] 牧野美香, 入江昭子, 福家伸夫, “災害時連絡網の実施調査 : 問題点と改善策”, 日本集団災害医学会誌 17(2) pp.368-371 (2012)
- [104] 指田朝久, “東日本大震災を踏まえた事業継続計画(BCP)の見直しのポイント : ITガバナンスからみた情報システムのバックアップの考え方”, 金融情報システム (325) pp.173-191 (2013)
- [105] C.P. Beistle, “Spontaneous Heating and ignition in transportation by railroad”, NFPA and US Dept. of Agriculture, pp. 40-45 (1929)
- [106] P.H. Thomas and P.C. Bowes, “Power, Some aspects of the self-heating and ignition of solid cellulosic Materials”, Journal of Applied Physics, 12 (5), pp. 222-229 (1961)
- [107] H. P. Rothbaum, “Spontaneous combustion of hay”, Journal of Applied Chemistry, 13, pp.291-302 (1963)
- [108] P.C. Bowes, “Application of the theory of thermal explosion to the self-heating and ignition of organic materials”, Fire Research Note 867 (1971)
- [109] 平野敏右著, “燃烧学”, pp.96-102 (2005)
- [110] 平山修久, “行政の災害対応からみた災害廃棄物発生量に関する研究”, 廃棄物学会研究討論会講演論文集 pp.107-114 (2006)
- [111] 加藤由美子, 掛川秋美, “大規模避難所のノロウイルス感染拡大を防ぐ”, 保健師ジャーナル 67(11) pp.992-998 (2011)
- [112] 押谷仁, “避難所における公衆衛生対応”, 南江堂内科 110(6) pp.1107-1111 (2012)
- [113] 國島広之, 賀来満夫, “東日本大震災と感染症”, 日本内科学会雑誌 101(11) pp.3090-3096 (2012)
- [114] 遠藤史郎, 徳田浩一, 八田益充, 國島広之他, “東日本大震災後の避難所において発生した A 型インフルエンザアウトブレイク事例”, 日本環境感染学会誌 27(1) pp.50-56 (2012)
- [115] 井上求, “災害廃棄物処理体系の構築 阪神淡路大震災の教訓を生かして”, 全国産業廃棄物連合会 いんだすと 21(5) pp.2-7 (2006)
- [116] 日高正人, “東日本大震災における災害廃棄物をどのようにして対応すべきか? ”, 建設リサイクル 56 pp.17-22 (2011)
- [117] 山際勝治, 宮城英徳, 八村幸一, 佐藤靖彦, “災害廃棄物の対応の状況”, 地盤工学会誌 61(2) pp.8-11 (2013)

- [118] 古閑広章, “東日本大震災テーマに講演 自治体職員の被災地派遣強化を”, 時事通信社 地方行政 pp.14-15 (2011)
- [119] 植田浩, “東日本大震災と職員派遣”, 地方公務員月報 (575) pp.20-22 (2011)
- [120] 島広匡, 岡村健太郎, “大震災時の建物被害認定調査における地方自治体間支援について: 東日本大震災発生時の仙台市に対する横浜市職員派遣を例に”, 地域安全学会梗概集 (29) pp.23-24 (2011)
- [121] 神戸市危機管理室, 神戸都市問題研究所行政資料, “東日本大震災の神戸市職員派遣の記録と検証(概要)”, 都市政策 (147) pp.68-71 (2012)
- [122] 堀田力, 雨宮孝子, “NPO法コンメンタール特定非営利活動促進法の逐条解説”, 日本評論社 (1998)
- [123] 横井寿之, “地域に果たす大学の役割と学生の福祉教育の広がりを目指して”, *Quality nursing* 9(1) pp.18-25 (2003)
- [124] 小松洋吉, 渡辺信也, 小抜隆, “事例紹介 東北福祉大学ボランティアセンターの活動と地域社会との連携”, 大学と学生 (4) pp.48-55 (2004)
- [125] 石井三恵, 篠原收, 小田長, “大学教育におけるボランティア活動の意義と授業開発・実践・評価”, 広島女学院大学生生活科学部紀要 (16) pp.21-44 (2009)
- [126] 千葉科学大学ボランティアセンター
<http://www.cis.ac.jp/campus/volunteer/index.html> 2013年5月
- [127] 干川剛史, “災害ボランティア活動の実態と課題 広域連携のための情報共有・交換の観点から”, 消防防災 4(3) pp.90-97 (2005)
- [128] 野元弘幸, “東日本大震災における災害ボランティア活動の現状と課題”, 月刊社会教育 56(11) pp.4-11 (2012)
- [129] 琴浦志津, 光武一成, 田端和彦, “東日本大震災被災地における兵庫大学生ボランティアの活動と災害ボランティアの課題”, 兵庫大学論集 (17) pp.309-326 (2012)
- [130] 能条歩著, “自然災害ボランティアハンドブック被災地に負荷をかけない活動の手引き記録と心得で綴”, 北海道自然体験活動サポートセンター (2011)
- [132] 渡辺征夫, “地球温暖化と廃棄物処理”, 廃棄物学会誌 3(1) pp. 27-34 (1992)
- [133] 山田正人, “廃棄物処理と地球温暖化”, 環境と測定技術 23(10) pp.22-30 (1996)
- [134] 石井宏幸, “産業廃棄物の現状と課題”, 空気調和・衛生工学 71(1) pp.7-9 (1997)
- [135] 皆川美郷, “廃棄物削減への取り組み: 地球温暖化対策の基本”, 開発工学 18(1) pp.8-14 (1999)
- [136] 北島滋, “日立市における住民運動の構造と論理: 産業廃棄物処理工場建設反対運動をめぐって”, 社会労働研究 22(1/2) pp.73-109 (1976)

- [137] 高橋昇, “どうするゴミの後始末--藤岡住民の廃棄物処理場反対運動”, 技術と人間 17(9), pp.90-95 (1988)
- [138] 高橋謙一, “「住民はなぜ廃棄物処分場設置に反対するのか」”, 廃棄物学会研究発表会講演論文集 7(3) pp.11-12 (1996)
- [139] 馬奈木昭雄, “地域通信<九州地方>九州における廃棄物処分場建設反対運動の状況と考え方”, 水資源・環境研究 (11) pp.80-82 (1998)
- [140] 環境省, “産業廃棄物の不法投棄等の状況”, 全国産業廃棄物連合会 産廃処理の総合専門誌 27(2) pp.92-99 (2012)
- [141] 循環型社会法制研究会, “循環型社会形成推進基本法の解説”, ぎょうせい (2000)
- [142] 国際比較環境法センター, “廃棄物処理法法令集 (平成 24 年版) 三段対照”, ぎょうせい(2012)
- [143] 舟木賢徳, “レジ袋の削減に向けて”, アース地球環境 (22) pp.2-7 (2004)
- [144] 山崎民子, “3R を中心とした環境教育 : 富山地区の小学校(公立校)の実践報告”, 化学と教育 55(10) pp.504-505 (2007)
- [145] 大迫政浩, “3R の取組による温室効果ガス排出削減効果”, 環境研究 (154) pp.14-24 (2009)
- [146] 滋賀県琵琶湖環境部循環社会推進課, “滋賀県における廃棄物 3R・適正処理の取り組み”, 産業と環境 39(11) pp.65-68 (2010)
- [147] 重村光輝, “3R に見る循環社会の課題リサイクルによる持続可能な社会形成の可能性”, 國學院大學研究開発推進センター研究紀要 (4) pp.256-243 (2010)
- [148] 鍵谷司, “循環型経済システムの構築と 3R システム産業の課題 物質リサイクルからエネルギーリサイクルへの転換中小商工業研究 (108) pp.40-46 (2011)
- [149] 末松広行編, “解説食品リサイクル法”, 大成出版社 (2008)
- [150] 牛久保明邦, “食品リサイクル法の概要と課題”, 産業と環境 30(1) pp.58-60 (2001)
- [151] 南眞二, “食品リサイクル法の問題点と今後の課題”, 奈良県立大学研究季報 12(3.4) pp.131-138 (2002)
- [152] 信澤由之, “食品産業におけるゼロエミッション活動の動向と課題 : 食品製造業を中心として”, 現代社会研究 (9) pp.63-72 (2011)
- [153] 吉田泰治, “食品リサイクルに関する経済波及効果の推計”, 農林水産政策研究所レビュー (4) pp.17-29 (2002)
- [154] 丹戸靖, 廣政幸生, “食品廃棄物のリサイクル化促進の経済的条件 : U 社の焼酎残渣利用飼料の現状と課題”, 明治大学農学部研究報告 55(1) pp.9-17 (2005)

- [155] 柳京熙, “食品関連事業者によるエコフイード生産の現況についての一考察”, 畜産の研究 63(4) pp.413-417 (2009)
- [156] 加賀爪優, 筑井麻紀子, 市川琢己, “京都府廃棄物産業連関表の作成と食品リサイクルの経済・環境評価”, 産業連関 19(2) pp.24-41 (2011)
- [157] 吉岡斉, “脱原発とは何だろうか”, 現代思想 39(14) pp.46-51 (2011)
- [158] 岩佐茂, “脱原発への思想と構想力”, 経済 (198) pp.91-100 (2012)
- [159] 和田武, “脱原発、自然エネルギー再生可能エネルギーの飛躍的普及を目指して”, 全労連 (185) pp.31-35 (2012)
- [160] 田浦健朗, “原発ゼロと再生可能エネルギー問題 脱原発と温暖化対策の両立を”, 女性&運動 (210) pp.10-13 (2012)
- [161] 井内尚樹, “脱原発と循環型地域経済の構築を目指して”, 中小商工業研究 (114) pp.62-67 (2013)
- [162] 稲葉伸也, 丸山和之, 三宅正起, 藤尾雄策, “発酵分解装置を用いた温州みかん搾汁粕のコンポスト化”, 日本食品科学工学会誌 43(11) pp.1205-1211 (1996)
- [163] 三好隆雄, “外食産業の食品廃棄物対策--コンポスト化で完全リサイクルを模索”, 食の科学 (238) pp.27-32 (1997)
- [164] 佐田榮三, 横川龍鳳, “食品産業における廃棄物とその再資源化”, エネルギー・資源 18(6) pp.559-564 (1997)
- [165] 藤城克久, “食品産業廃棄物のコンポスト化への取り組み”, 食品の包装 30(1) pp.47-52 (1998)
- [166] 村田徳治, “リサイクル食品廃棄物のエネルギー化”, 食品工場長 1(9) pp.65-67 (1998)
- [167] 今野陽一, 黒田潤, 熊谷勝巳, “食品産業で発生する有機性廃棄物の堆肥化技術”, 山形県立農業試験場研究報告 (32) pp.41-53 (1998)
- [168] 五十部誠一郎, “食品産業廃棄物の再資源化”, 食糧 (43) pp.33-51 (2005)
- [169] 茅野充男, “有機性廃棄物の堆肥化新技術”, 食品工業 49(24) pp.27-35 (2006)
- [170] 板谷勉, “食品廃棄物からの水素・メタン回収”, 全国環境研会誌 33(1) p.35-41 (2008)
- [171] RISAD, <http://riodb.ibase.aist.go.jp/riscad/> 2013年5月
- [172] 失敗知識データベース, <http://www.sozogaku.com/fkd/> 2013年5月
- [173] 災害情報データベース, <http://www.adic.waseda.ac.jp/modules/tinyd2/> 2013年5月

- [174] オンライン安全衛生情報, http://www.jaish.gr.jp/anzen_pg/SAI_FND.aspx 2013年5月
- [175] 事故事例データベース検索システム, <http://www.khk.or.jp> 2013年5月
- [176] 危険物等事故関連技術情報, http://www.khk-syoubou.or.jp/accident_case/ 2013年5月
- [177] US Chemical Safety and Hazard Investigation Board, <http://www.csb.gov/> 2013年5月
- [178] 豊島富三郎著, “なくそう！はさまれ・巻き込まれ 第3版安全衛生実践シリーズ”, 中央労働災害防止協会(2004)
- [179] 中野洋一著, “なくそう！墜落・転落・転倒第5版 安全衛生実践シリーズ”, 中央労働災害防止協会 (2012)
- [180] 吉田邦夫編, “ケミカル・ルネサンス化学産業の未来が見える”, 丸善 (1998)
- [181] 化学工業日報社, “歴史にみる化学産業の諸相 過去、現在そして未来”, (2003)
- [182] 伊藤裕人著, “国際化学産業経営史”, 八朔社 (2009)
- [183] 南正明著, “化学業界大研究改訂版”, 産学社 (2010)
- [184] 橋川武郎著, “化学産業の時代日本はなぜ世界を追い抜けるのか”, 化学工業日報社 (2011)
- [185] 安全工学会監, “化学プロセスの安全 解説・事例と Q & A”, みみずく舎 (2012)
- [186] 田島慶三著, “最新化学業界の動向とカラクリがよ〜くわかる本 業界人、就職、転職に役立つ情報満載第2版”, 秀和システム (2012)
- [187] 小澤宏之建設業におけるヒューマン・エラーとその防止”, 品質 24(1) pp.44-50 (1994)
- [188] 遠藤敏夫, “ヒューマン・エラーの防止 人間行動の特性と労働災害”, 月刊下水道 20(8) pp.21-25 (1997)
- [189] 多村耕一, “ヒューマンエラーによる電気事故防止に向けて”, 鉄道と電気技術 12(8) pp.6-9 (2001)
- [190] 高野研一, “ヒューマンエラー防止と安全”, 文化電気評論 89(5) pp.23-26 (2004)
- [191] 重森雅嘉, “ヒューマンエラーの要因を紐解く(10) 事故要因懇談会による安全意識の向上”, 安全と健康 59(10) pp.56-58 (2008)
- [192] 岡田有策, “安全管理におけるヒューマンファクターズ--組織として, ヒューマンエラーの問題をマネジメントするためには”, 運転協会誌 53(5) pp.27-31 (2011)
- [193] 江藤慶祐, “ヒューマンエラー防止に向けた取り組み：東京メトロの取り組み事例”, 経営システム 21(6) pp.264-269 (2012)

- [194] 本間伊勢松, “安全パトロール制度の成果”, 労務研究 14(4) pp.42-44 (1961)
- [195] 山本洋三, “ツールボックス・ミーティング”, 鉄道と電気技術 10(7) pp.69 (1999)
- [196] 小島義博, “安全・衛生コーナー 災害ゼロを目指して! ヒヤリハット活動の全社展開”, 維持管理 24(48) pp.30-34 (2005)
- [197] 岡部博志, “ヒヤリハット活動による安全ツールの開発 安全レベルの向上”, 計装技術 27(1) pp.47-49 (2007)
- [198] 中災防マネジメントシステム, 審査センター中災防教育推進部ゼロ災推進センター, “リスクアセスメント時代の日常職場活動を考える”, 安全と健康 62(10) pp.953-962 (2011)
- [199] 奥田吉春, “労働安全のヒント(79)改善に結び付ける安全パトロール”, 林材安全 (761) pp.20-23 (2012)
- [200] 向殿政男監, “安全設計の基本概念 ISO/IEC Guide 51 (JIS Z 8051) ISO 12100 (JIS B 9700)”, 日本規格協会 (2007)
- [201] 伊藤昭好, “リスクアセスメントを活用した研修の取り組み”, 労働の科学 57(9) pp.557-560 (2002)
- [202] 長坂彰彦, 高野研一, 蛭子光洋, “リスクアセスメント情報活用システムの開発”, 電力中央研究所報告 (2004)
- [203] 征矢野あや子, “リスクアセスメントの有効性とエビデンスに基づいた実践活用”, ナーシング・トゥデイ 22(12) pp.40-46 (2007)
- [204] 東京中央労働基準監督署, “労働災害再発防止講習会でリスクアセスメント演習を実施”, 労働安全衛生広報 40(950) pp.32-42 (2008)
- [205] 森山哲, “ヒューマンエラーを考慮したリスクアセスメント”, 産業・化学機械と安全部門講演会講演論文集 pp.23-24 (2008)
- [206] 新添政美, “クレーン建設用ジブクレーンの貸与者(レンタル業者)のリスクアセスメント手法を取り入れた要員の教育方法への取り組みについて”, ボイラー・クレーン・溶接の Jitsu・Ten 41(4) pp.10-13 (2008)
- [207] 東海明宏, “大学との連携によるリスク評価の実務”, 教育工学教育 56(2) pp.25-28 (2008)
- [208] 嘉田良平, “国際化社会の中での食糧安保論”, ジュリスト (964) pp.36-40 (1990)
- [209] 木立真直, “食品の流通システムはどう変わるか”, 農業と経済 62(8) pp.112-117 (1996)
- [210] 番場博之, “グローバル化に伴う流通構造の変化と中小零細小売業”, 商工金融 51(11) pp.22-40 (2001)

- [211] 木立真直, “売業のグローバル化と日本的流通システム : 外資参入による食品流通へのインパクトを中心に”, 同志社商学 53(5-6) pp.40-56 (2002)
- [212] 池ヶ谷良夫, “国際化に対応した農産物流通 (農産物・食品流通のあり方)”, 産物流通技術年報 pp.3-9 (2008)
- [213] スージーワード, クレアクリフトン, “世界食文化図鑑食物の起源と伝播”, 東洋書林 (2003)
- [214] 食育基本法研究会編, “Q & A 早わかり食育基本法”, 大成出版社 (2005)
- [215] 戸井和彦著, “食育基本法学校で取り組む QA 事典”, 明治図書出版 (2006)
- [216] 野村卓, “地域に根ざした食育活動の支援 食育基本法成立を契機に”, 季刊教育法 (146) pp.110-114 (2005)
- [217] 鳥丸佐知子, 落合利佳, 浅野美登里, 坂本裕子, 中島千恵, “短大における「食育」教育で何ができるか? 教育 食物 医学 心理の連携を通して”, 京都文教短期大学研究紀要 48 pp.96-103 (2009)
- [218] 堀江和代, 小嶋汐美, “食育の認識・実践の実態について”, 仁愛大学研究紀要 人間生活学部篇 1 pp.27-33 (2009)
- [219] 坂本裕子, 中島千恵, 浅野美登里, 落合利佳, “地域における保育園との連携による食育実践に関する調査研究”, 京都文教短期大学研究紀要 49 pp.23-31 (2010)
- [220] 米満裕, “教育現場と食育基本法”, 学校運営 53(7) pp.16-19 (2011)
- [221] 多々納道子, 山田千尋, “幼稚園における食育の実態と課題”, 島根大学教育学部紀要. 教育科学・人文・社会科学・自然科学 46 pp.15-27 (2012)
- [222] 張磊, “食育を推進する学校給食制度のあり方に関する一考察 食育基本法案の国会審議に注目して”, 教育行政学研究 (33) pp.1-8 (2012)
- [223] 高杉晋吾, “改正廃掃法とリサイクル法の周辺で何が起きているか”, 月刊自治研 34(3) pp.81-87 (1992)
- [224] 織朱實, “よくわかる廃掃法・リサイクル法・容器包装リサイクル法 欧米諸国の制度と比較して”, 日報出版 (1995)
- [225] 三重県ごみ固形燃料発電所事故調査専門委員会, “ごみ固形燃料発電所事故調査専最終報告書”, (2003)
- [226] 村田富二郎, “資源としての化石燃料 原油は近い将来枯渇するのか”, 経済評論 26(8) pp.93-101 (1977)
- [227] 加藤史憲, “枯渇する化石エネルギー 持続可能なエネルギー政策はあるか”, 立法と調査 (251) pp.16-21 (2005)

- [228] 菱木勤治, “地球温暖化・資源・エネルギーを考える (5) 主要資源 (ベースメタル、レアメタル、化石燃料) の現状”, 日刊自動車新聞社 *Mobi* 21 97 pp.48-50 (2012)
- [229] 増田信彦, “温室効果と化石燃料利用計”, 画富山大学紀要. 富大経済論集 36(1) pp.13-24 (1990)
- [230] 電気学会温室効果ガスと化石燃料発電システム調査専門委員会編, “温室効果ガスと化石燃料発電システムの動向”, 電気学会技術報告 2 部 (447) pp.1-58 (1992)
- [231] 小川芳樹, “化石エネルギー源の温室効果に関するグローバル評価と地球温暖化問題への対応”, 日石三菱レビュー 41(2) pp.39-46 (1999)
- [232] 梶山啓輔, 内山洋司, “化石燃料の枯渇と CO2 濃度に関する長期分析”, 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 20 pp.363-366 (2004)
- [233] 小宮山涼一, “温室効果ガス主要排出国のエネルギー需給の長期展望”, 石油学会 *Petrotech* 33(5) pp.351-355 (2010)
- [234] 清家弘司, 庄司啓史, 小林英樹, “東日本大震災からの復興モデルの検証 再生可能エネルギーと社会資本インフラ”, 衆議院調査局 *journal of the Research Bureau of the House of Representatives* 8 pp.111-150 (2011)
- [235] 馬上丈司, “東日本大震災以降の再生可能エネルギー政策に関する考察”, 千葉大学人文社会科学研究 (23) pp.76-97 (2011)
- [236] 桃井貴子, “再生可能エネルギーの普及をめざして (特集 東日本大震災・原発事故から一年)”, 新日本婦人の会 女性&運動 (204) pp.10-13 (2012)
- [237] 田島一成, “再生可能エネルギー政策について東日本大震災を踏まえた民主党環境部門会議での議論”, 農村と都市をむすぶ 62(2) pp.8-14 (2012)
- [238] 東洋法規出版編, “電気事業法令集(2004 年度版)”, (2004)
- [239] 安居徹, “3 年目を迎えた RPS 法の評価検討について”, コージェネレーション 21(2) pp.14-18 (2006)
- [240] 永見靖, “RPS 法 (新エネルギー利用特別措置法) 義務量引上げについて”, 生産と電気 58(8) pp.19-22 (2006)
- [241] 山地憲治, “RPS 法の検討結果と今後の新エネルギー政策”, エネルギー・情報工学研究会議 *EIT journal* (52) pp.2-22 (2006)
- [242] 近藤かおり, “我が国における新エネルギーの現状と課題 RPS 制度を中心に”, 国立国会図書館調査及び立法考査局 調査と情報 (636) pp.1-11 (2009)
- [243] 資源エネルギー庁, “海外主要国における再生可能エネルギーの導入促進施策等について”, (2009)
- [244] 東洋法規出版編, “電気事業法令集(2013 年度版)”, (2013)

- [245] 坂井豊, 渡邊雅之, “再エネ法入門 環境にやさしい再生可能エネルギービジネス入門”, 金融財政事情研究会 (2013)
- [246] 小林広武, “徹底分析太陽光発電大量導入に向け克服すべき課題”, エネルギーレビュー 31(11) pp.28-31 (2011)
- [247] 宇佐美章, “再生可能エネルギー発電の動向と課題 (第 2 回) 太陽光発電技術の動向と課題”, 電力土木技術協会電力土木 (362) pp.139-142 (2012)
- [248] 中村祐司, “太陽光発電の普及促進事業をめぐる政府地方自治体の政策課題”, 宇都宮大学国際学部研究論集 34 pp.35-42, 2012
- [249] 島正樹, “太陽光発電の現状、課題および将来展望”, 腐食防食部門委員会資料 51(286) pp.1-10 (2012)
- [250] 玉野史郎, “太陽熱発電システムの市場動向と技術課題”, 日本工業出版 ターボ機械 40(5) pp.277-283 (2012)
- [251] 中尾徹新, “エネルギー発電 日本における風力発電の現状と課題”, 電気協会報 (1029) pp.34-40 (2010)
- [252] 佐々木健夫, “国内の風力発電の現状と課題”, 石油学会ペトロテック 35(10) pp.742-747 (2012)
- [253] 大澤輝夫, “洋上風力エネルギー賦存量の推定とその技術的課題”, 環境技術 41(9) pp.550-555 (2012)
- [254] 中島大, “小水力の課題と展望”, えんとろびい (68) pp.134-137 (2010)
- [255] 金田剛一, “新エネルギー発電 小水力発電開発の動向と課題”, 電気協会報 (1030) pp.22-25 (2010)
- [256] 清水徹朗, “小水力発電の現状と普及の課題”, 農林金融 65(10) pp.634-652 (2012)
- [257] 永井健太郎, “小水力発電の現状と普及への課題”, 冷凍 87(1017) pp.458-461 (2012)
- [258] 海江田秀志, “地熱発電をめぐる技術上の課題”, 総合土木研究所基礎工 38(1) pp.33-36 (2010)
- [259] 松永烈, “地熱エネルギー開発の現状と課題”, 粉体技術 4(12) pp.1211-1218 (2012)
- [260] 風尾幸彦, “地熱発電資源量は 3 位、技術力は世界トップ開発コストや自然環境との調和が課題”, エネルギーレビュー 32(9) pp.15-18 (2012)
- [261] 上地成就, 錦澤滋雄, 原科幸彦, “地熱発電施設普及をめぐる制度的課題の整理”, 環境情報科学 40 (4) pp.78 2012
- [262] 西口信幸, “高効率ごみ発電の現状と課題”, 廃棄物学会誌 6(3) pp.205-217 (1995)

- [263] 川本克也, “廃棄物資源化へのガス化 改質技術の応用”, 環境工学総合シンポジウム講演論文集 2007(17) pp.147-150 (2007)
- [264] 野村卓朗, “廃棄物固形燃料化技術について”, 紙パ技協誌 62(8) pp.975-979 (2008)
- [265] 日本環境衛生施設工業会, “高効率ごみ発電の最新技術について”, 全国都市清掃会議都市清掃 62(292) pp.502-514 (2009)
- [266] 前田洋, 山形成生, “新エネルギー導入推進におけるごみ発電の位置づけと課題”, 廃棄物資源循環学会誌 21(6) pp.380-386 (2010)
- [267] エコパークあぼし, <http://ecopark.or.jp/> 2013年5月
- [268] 廣瀬定康, “火力発電所における廃棄物の処分及び再資源化の実態調査結果”, 火力原子力発電 47(1) pp.77-82 (1996)
- [269] 吉高恵美, 氣駕尚志, “火力発電所における石炭代替燃料としての廃棄物・バイオマス利用”, 日本機械学会 年次大会講演論文集 pp.181-182 (2002)
- [270] US National Research Council, “Effective Risk Communication”, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/brochures/br0308/> 2013年5月
- [271] 環境省, “リスクコミュニケーション”, http://www.env.go.jp/chemi/communication/taiwa/text/7s_2008.pdf 2013年5月
- [272] T N. Walters, “Ongoing Crisis Communication: Planning, Managing, and Responding 2nd”, Vol.34, Issue 3 pp.315-316 (2008)
- [273] D. E. Williams, B. A. Olaniran, “Expanding the crisis planning function: Introducing elements of risk communication to crisis communication practice”, Public Relations Review Vol.24, Issue3pp.387-400 (1998)
- [274] W. Leiss, “Effective risk communication practice Toxicology Letters”, Vol.149, Issues 1-3 pp.399-404 (2004)
- [275] 中村昌允, “化学物質のリスクコミュニケーション”, 化学工学 74(8) pp.432-435 (2010)
- [276] 吉川肇子, “リスクコミュニケーションの意義と必要性”, 環境情報科学 39(2) pp.9-13 (2010)
- [277] 佐藤等, 山田将巳, “化学物質に関するリスクコミュニケーション事例の分析とその展望”, 環境情報科学 39(2) pp.30-34 (2010)
- [278] 能崎章輔, “技術の限界とリスクコミュニケーション”, フレグランスジャーナル 39(4) pp.5-7 (2011)

- [279] M. B. Rogers, J. M. Pearce, “Risk Communication, Risk Perception and Behavior as Foundations of Effective”, National Security Practices Strategic Intelligence Management pp.66-74 (2013)
- [280] R. E. Löfstedt, “Risk communication in the Swedish energy sector Energy Policy”, Vol.21, Issue 7 pp.768-772 (1993)
- [281] 佐藤雄也, “リスク・コミュニケーションの心得”, 土壌環境センター技術ニュース (16) pp.69-77 (2009)
- [282] 西澤真理子, “リスクコミュニケーションという社会技術の使い方”, 環境管理 48(7) pp.580-586 (2012)
- [283] 北野大, “安全・安心とリスクコミュニケーション”, 食品衛生学雑誌 53(6), pp.412-415 (2012)
- [284] J. Petts, “Incineration risk perceptions and public concern: Experience in the U.K. improving risk communication”, Waste Management & Research Vol.10 Issue 2 pp.169-182 (1992)
- [285] 柳憲一郎, “リスクコミュニケーションにおける自治体の役割と促進：環境アセスメントを通して”, 全国都市清掃会議 都市清掃 65(308) pp.337-342 (2012)
- [286] 堀口逸子, “安全衛生情報 リスクの相互認識のためのリスクコミュニケーションのポイント”, 社団法人日本労働安全衛生コンサルタント会機関誌 32(101) pp.34-39 (2012)
- [287] 石坂薫, 田中勝, “リスクコミュニケーションの必要性と課題”, 全国都市清掃会議 都市清掃 55(247) pp.252-256 (2002)
- [288] 近本一彦, “リスクコミュニケーションの現場における苦悩”, 日本リスク研究学会誌 18(2) pp.23-31 (2008)
- [289] 勝田悟, “地域における資源生産性の向上に関する研究 再生可能エネルギーの導入と資源循環の促進”, 産能大学地域環境研究所年報 (15) pp.1-65 (2001)
- [290] 豊田隆, “バイオマス利用と地域農業・農村の活性化 再生可能エネルギーによる人間生存の開発政策”, 東京農工大学人間と社会 17 pp.109-125 (2006)
- [291] 堀尾正靱, “地域再生と再生可能エネルギー”, 日本科学者会議 日本の科学者 43(4) pp.172-177 (2008)
- [292] 酒井正治, “再生可能エネルギーと地域政策の統合による戦略的政策形成”, 中国地方総合研究センター 季刊中国総研 13(3) pp.11-19 (2009)
- [293] 水上貴央, “地域主導型再生可能エネルギー事業の重要性とそれを巡る法的論点”, 青山法務研究論集 6 pp.1-34 (2013)

- [294] 中島大, “分散型エネルギー社会に向けて新・再生可能エネルギーの導入事例分析”, 地域開発 (397) pp.21-26 (1997)
- [295] 渡部喜智, “再生可能エネルギー活用の現状と課題 : 地域分散型・地域自立的なエネルギー供給体制に向けて”, 農林金融 64(11) pp.652-674 (2011)
- [296] 松山隆司, “再生可能エネルギーによる分散型発電と市民 市民の、市民による、市民のためのスマートエネルギーマネジメントの実現に向けて”, 都市問題 103(6) pp.15-19 (2012)
- [297] 野口哲, “再生可能エネルギーと分散型エネルギー”, エネルギー・資源 33(5) pp.292 (2012)
- [298] 植田和弘, “再生可能エネルギーで地域分散型ネットワーク社会を目指す”, 第三文明 (635) pp.26-28 (2012)
- [299] 山口卓勇, “地域における再生可能エネルギーの現状と地域分散型システムの課題”, 農村と都市をむすぶ 63(1) pp.41-45 (2013)
- [300] 山下紀明, “再生可能エネルギーの普及への課題”, 村と都市をむすぶ 63(1) pp.15-23 (2013)
- [301] 環境モデル都市構想, <http://ecomodelproject.go.jp/> 2013年5月
- [302] 長野県飯田市,
<http://www.city.iida.lg.jp/iidaspyher/www/info/detail.jsp?id=10309> 2013年5月
- [303] 戸敷浩介, 劉庭秀, “大都市における再生可能エネルギー導入の可能性 東京都の廃プラスチック処理を事例として”, 日本地域政策研究 (5) pp.121-128 (2007)
- [304] 三浦秀一, “住宅の省エネルギー対策と再生可能エネルギー導入による展望と地域性”, 日本建築学会学術講演梗概集 pp.1009-1010 (2007)
- [305] 鳥居いつほ, “商業地における景観と景観規制”, 九州大学法政学会学生法政論集 1 pp.29-39 (2007)
- [306] 谷下雅義, 長谷川貴陽史, 清水千弘, “景観規制が戸建住宅価格に及ぼす影響 東京都世田谷区を対象としたヘドニック法による検証”, 計画行政 32(2) pp.71-79 (2009)
- [307] 李林遙, 辻永梨香, 中山徹, 清水陽子, “景観規制による既存不適格建築に関する研究 : 奈良市中心部を対象として(都市計画)”, 日本建築学会近畿支部研究報告集 (51) pp.625-628 (2011)
- [308] 石原孟, “建築基準法と風力発電設備支持物の性能評価”, 日本風力エネルギー協会 風力エネルギー 32(2) pp.61-67 (2008)

- [309] 飯塚宏, “自然エネルギー・未利用エネルギーの活用”, 公共建築 47(4) pp.56-59 (2005)
- [310] 森保文, 亀卦川幸浩, 内田裕之, “都市スケールでの未利用エネルギー導入による省エネ効果の詳細評価モデル”, エネルギー・資源 27(3) pp.211-217 (2006)
- [311] 菅正史, “地域冷暖房による未利用エネルギー利用の推進と都市計画の役割”, 日本都市計画学会都市計画 59(6) pp.45-48 (2010)
- [312] 佐々木隆, “未利用エネルギーに注目集まる”, 土木學會誌 97(3) pp.56 (2012)
- [313] 須藤俊彦, 加治屋亮一, “未利用エネルギーの有効利用に関する研究：空調熱源としての下水熱利用可能性評価”, 空気調和・衛生工学会論文集 (192) pp.23-29 (2013)
- [314] 市原潔, “未利用エネルギーとして下水熱を利用するヒートポンプシステム”, 設備と管理 30(13) pp.2-10 (1996)
- [315] 始関修一, “未利用エネルギーを活用した蓄熱式ヒートポンプシステム”, 日本エネルギー学会誌 78(9) pp.786-787 (1999)
- [316] 松原隆彦, “ヒートポンプによる未利用エネルギーの活用”, 下水道協会誌 49(598) pp.36-39 (2012)
- [317] 木村賢人, 辻修, 宗岡寿美, “北海道における雪氷冷熱利用”, 農業農村工学会誌 80(6) pp.453-456 (2012)
- [318] 対馬勝年, “雪冷熱エネルギー等利雪技術の今後の展望”, 国土計画協会 人と国土 21 38(1) pp.12-15 (2012)

第7章

総括

社会の発展に伴い、危機管理・リスク管理は日々重要性を高めてきている。また、少ない資源を有効活用し、再利用する循環型社会の構築にも関心が高まってきている現在である。人間が社会生活を行っていく上で、危機管理・リスク管理は、全てに関わり行っていかなければならない総合的なものである。

危機管理・リスク管理を行っていく上で、時には哲学的な思想も要求されるが、地域が置かれている環境・歴史的背景や成り立ち等を十分視野に入れ、意識改革・安全教育といった活動を取り入れ、その時々に応じた対応策を考えていくべきである。

これまで学び・経験してきた情報を知識化し、わかりやすい形で共有化していくことが、必要不可欠であると考えられる。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、自然発火（人為的に火をつけることなく出火する現象）等による、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、必要となる基本的データを取りまとめ、その結果を基に今後の安全対策を立案することを目的とした。

第2章では、災害廃棄物・再生資源物品等からの発酵熱に起因する自然発火等の事故を立証するため、危機管理・リスク管理の両面を満たし、短時間・低コストで結果を得ることができ、様々な高感度熱分析装置を組み合わせ試料の測定ができる、熱危険性評価手法を選択し、実験を試みた。事故原因の立証過程においては、現地調査は欠かせないものであり、また、現場での試料採取は重要であると考ええる。

このことは、数回の現地調査を行い、身をもって体験した結果より言えることである。危機管理・リスク管理を行おうとする者は、自分自身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現地調査や視察を行い、その情報を自分自身の考え方、評価方法へと転換していかなければならないと考える。

今回用いた熱危険性評価手法の結果より、この手法は臨機応変に物性に合わせ、追加検証が可能であったこと、比較的安全に測定・実験できたことにより、この手法を選択したことは、間違っていなかったと確信できた。また、この手法を廃棄物・再生資源物品等の安全評価に応用している例はあまり無いため、この研究のデータは新規性があり、学術的にも価値のあるものであると考えられる。

第3章では、東日本大震災で生じた災害廃棄物の仮置き場で、短期間の内に連続して発生した自然発火に起因する火災について調査・実験・研究を行った。

結果より、断熱状況がよい場合には、周囲の環境温度が 30 °C 以下であっても、腐食した畳や木材チップから生じる発酵熱が自然発火の引き金となりえることを実験的に明らかとした。

また、適度な水分を含んだものほど発酵しやすいという実験結果から、雨が繰り返し降り、気候も温暖になってくる時期には、特に、火災発生に対して警戒が必要であることがわかった。このことより、災害廃棄物の仮置き場において、消火や冷却のため、放水を行った近辺に発酵しやすいものがあった場合、放水の水で発酵し、蓄熱後に火災に至る可能性が高いため、十分な注意を払うことが必要であることが確認できた。

これらの結果を踏まえて、発酵を抑制するという観点から災害廃棄物が堆積された物の法面をシートや土砂等で覆い、酸素の流入量の抑制を行う、もしくは、パイプを打ち込み、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は、有効であることを実験より明らかとした。

このことは、災害廃棄物の仮置き場で頻発した発酵を起因とした自然発火を防止し、本質的な安全対策に寄与し、未然防止に貢献できるものとする。

また、災害廃棄物の中で特に、腐食した畳が自然発火の引き金となりやすいことを実験的に明らかにしたのは、本研究が初めてである。

第4章では、食品廃棄物に関わる事故のうち、特に醤油醸造工程から排出される醤油かすと魚の残渣を再利用して製造される魚粉が、貯蔵場所において発酵を起因とした、自然発火や酸欠を引き起こすといった危険性について、調査・実験・研究を行った。

結果より、周囲の環境温度が 30 °C 以下であっても、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ことが確認できた。

また、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、自然発火に至ることが明らかとなった。これらの結果を踏まえて、堆積・貯蔵量の制限や、作業員に小型のガス検知器を携帯させ、特に貯蔵量が多い場合には、入庫時と出庫時のガス濃度の記録をとることが安全対策上重要であると思われる。

また、作業員の健康を守るためにも、外部から貯蔵場所の酸素濃度が目視できる、酸素濃度計の設置を義務付け、貯蔵場所に立ち入る前には、内部を十分に換気し、安全確

認を行った上で貯蔵庫内に入ることが必要と思われる。

このことは、銚子市の地場産業に起因する、自然発火・酸欠等の事故防止や本質的な安全対策に寄与し、食品廃棄物関連事故の未然防止に貢献できるものとする。

第5章では、新規開発された再生資源燃料の中で、特に、廃棄物を再利用して製造された固形タイプの再生資源燃料が、発酵を起因とした自然発火を引き起こす危険性について調査・実験・研究を行い、熱危険性評価手法より得られた結果を基にして、相対的な危険性の評価を試みた。結果より、特に、廃棄物を再利用して製造されている再生資源燃料は、周囲の環境温度が30℃以下であっても発酵を起因として発熱を開始し、自然発火を引き起こすことが確認できた。

また、熱危険性評価手法より得られた結果を基にして行った、相対的な危険性評価では、自然発火の引き金となりうる発熱の有無を確認することができ、危険性を効率的に把握する上では、有効であることがわかった。

本研究で行ったように、廃棄物を再利用して製造されている再生資源燃料の初期発熱から自然発火までを全体的に検討し、相対的な評価を試みた例は、あまりなく、今回の結果より、総合的な安全対策が行えるものであると思われる。

また、廃棄物を再利用して製造される固形タイプの再生資源燃料は、「ごみ」という認識の方が強く、燃料を取り扱っているという認識に欠けるため、今後は、意識改革の向上に努め、十分な危険性評価を行った上で、普及・実用化していかなければならないと考える。

第6章では、第3章、第4章、第5章で抽出された問題点を踏まえた上で、災害廃棄物・再生資源物品等を安全に処理・再利用し、循環型社会を構築していくための提言を行うことを目的とした。

第3章の結果や研究を通して得られた知見を活かし、第6章の1項では、今後発生しうる広域災害を想定し、主に災害廃棄物の観点から様々な提言を行った。広域災害発生時には、被災自治体が単独で対応することは極めて困難であるため、被災自治体および支援自治体の両方の立場から事前に連携体制を検討しておく必要があると思われる。また、広域災害時には不測の事態が起こることが想定され、事前に細かく計画を策定しておいたとしても、実際には対応できにくいことも発生してくる可能性が高い。

そのため、PDCAサイクル等を上手く応用し、その都度計画を修正し柔軟に対応する

ことが重要であり、また、広域災害時には膨大な量の災害廃棄物が発生する可能性があることが考えられるため、地域特性を踏まえ、時系列に沿った災害廃棄物への対処・処理計画を策定しておくことが欠かせない問題である。

特に災害廃棄物を適正に処理再利用していく上では、住民の理解と協力は欠かせないものであるため、被災時のみではなく、平常時から、災害廃棄物への理解を促すための情報配信を行っていくべきである。

また、災害廃棄物への対処や復旧・復興の過程において、ボランティア組織の存在は欠かせないものであると言える。

そのため、ボランティア組織の力を最大限に発揮できるような受け入れ体制、自治体間における協力関係等を盛り込んだ協定書等を作成し、シミュレーションを行い、円滑に構築できるようにしておくことが重要になってくると考えられる。また、産・官・学の連携も含め、有事の際に地域住民をまとめ上げることのできる、リーダー的な役割が果たせられるような人材育成にも力を入れ、取り組んでいくべきであると考えられる。

第6章の2項では、第4章の結果や研究を通して得られた知見を活かし、今後さらに構築が求められてくる循環型社会を踏まえ、主に食品廃棄物の観点から様々な提言を行った。

食品廃棄物の多くは、組成が常に一定でなく、その取り扱い状況も様々であることから、発生しうる好ましくない状況や事故等の予測が簡単ではない。そのため、様々な業界で過去に発生した事故から類似性の抽出を行い、再発防止のための安全対策を行っていく必要が十分あることが考えられる。

事故情報を抽出し、安全対策として活用した上で、再発の防止に努めていく段階では、ヒヤリハット活動等の安全に対する意識改革と、安全教育の活動を行うことが必須であると思われる。特に、ヒューマンエラーに関しては、作業に携わる者に高い安全意識を有してもらわなければならない点である。

また、意識改革と安全教育の活動を行っていく上で、リスク評価を行うことも、視野に入れ、考えていくべきである。リスク評価の記録は、技術伝承や判断基準の根拠等としても活用することが可能であり、教育的効果も大きい。このように、意識改革と安全教育の活動、リスク評価を同時に行うことで、様々な効果を得られることが期待できる。

これらの対策を取り入れていく上で、食品廃棄物を取り扱う事業者だけでなく、排出する側にも、高い関心や安全意識を持ってもらわなければ、本質的な状況の解決には繋がらない。このように食品廃棄物を有効に利用していくには、排出者と受け入れを行い処理する側との双方の連携が必須であり、いかに互いの理解を得るためのネットワークを構築していくかも重要になってくると考えられる。

また、循環型社会を構築していく上での持続性とは、現在の要求を充たしつつ次世代の要求をも充たすものといえる。これを持続していく過程においては、地球の生命維持力に対して、人間がどの程度の負荷を日常的にかけているのか等に対して、理解を深めてもらうための、教育活動も行っていく必要性がでてくると考えられる。

第5章の結果や研究を通して得られた知見を活かし、第6章の3項では、循環型社会構築を視野に入れ、今後のエネルギー政策を踏まえ、主に再生資源燃料を含む再生可能エネルギーの観点から様々な提言を行った。

再生資源燃料を含む再生可能エネルギーによる発電を普及させていく際には、地域活性化を前提に設定することが重要であると思われる。

また、普及を行おうと計画している場所の地域住民や、利害関係者に対して適切な説明を行わなかった場合、協力や理解が得られず、普及が円滑に進まないことが想定される。そのため、事前に適切なリスクコミュニケーションを行うことが妥当であると考えられる。

リスクコミュニケーションの過程で得られた知見は、今後の普及活動等を行う上で、対立の解消・緩和や信頼関係の確立に繋がっていく可能性が十分あると考えられる。このことより、継続的にリスクコミュニケーションを行い、適切な情報の共有化に努めていくことが重要であるといえる。また、再生資源燃料を含む再生可能エネルギーは、適切に使用すれば持続可能な循環型社会を構築していく上で有効であると思われる。

しかし、普及を後押ししていく上で、明確な目標の設定や各種法律や制度が求められてくる。そこで、これらの法律や制度上の問題点を解決していく上では、幅広い分野に渡る専門家の相互協力が欠かせないものとなってくる。

再生資源燃料を含む再生可能エネルギーの専門家は、その大部分が、理系出身であると言われているが、これらに関わる事業には、既存の理工系の分野だけでなく、政治学・経済学・社会学といった、社会科学に関わる分野や文理融合型の新たな学問体系である、「危機管理・リスク管理学」の知識も欠かせないと思われる。

それらの知識を有する専門家が、様々な角度から再生資源燃料を含む再生可能エネルギーに関わる評価試験等を行い、今後の政策改善に対して、積極的な関わりを持っていくことが重要になってくると考えられる。

本研究では、災害廃棄物・再生資源物品等に関わる自然発火や酸欠について、熱危険性評価手法を用いて、実験を行い得られた結果から、危機管理・リスク管理を踏まえ様々な提言を行った。

熱危険性評価手法を用いた実験結果より、災害廃棄物・再生資源物品等は、発酵によって自然発火や酸欠を引き起こす可能性があり、貯蔵等の各工程においては、安全対策を講じていかなければならないことを明らかとした。今後、温度上昇過程における発酵菌の移り変わりや種類等の推定も視野に入れ研究を継続していくことが望ましい。

また、災害廃棄物・再生資源物品等は、取扱い状況が様々であり、自然発火や酸欠を含む、事故等の予測は容易ではないが、過去に発生した事故等から類似性を見出し、それらをもとにリスク評価を取り入れ、意識改革や安全教育等を行っていくことが望ましい。

さらに、今後発生しうる広域災害を想定し、循環型社会構築を視野に入れ、災害廃棄物への適正な対処や、再生資源物品等の円滑な普及を行っていく上では、PDCAサイクルの活用や、事前にリスクコミュニケーションを行っておくことなど、幅広い分野での、相互連携が必須となってくることが考えられる。

以上述べてきたが、危機管理・リスク管理は、我々が社会生活を行っていく上で、全てに関わり、行っていかなければならない、総合的なものなのである。

最後に、本研究が危機管理・リスク管理への認識の向上と災害廃棄物・再生資源物品等の安全対策を立案する上で、有意義な情報の一助となれば幸いである。

論文目録

研究業績（査読有り 計 10 本：第 1 著者 9 本・第 2 著者 1 本）

- [1] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Lijing Gao, “Study on spontaneous ignition of stored food waste to be used for recycling”, Fire and Materials, (Accepted) 2012 (IF1.18)
- [2] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Risk assessment for the spontaneous ignition of the rubble generated after the Great East Japan Earthquake”, International Journal of Engineering Research and Applications, Vol.2 Issue4 pp.808-816 2012
- [3] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata , Yasuhito Shibata , “Determination of Spontaneous Ignition of SSSR and Fish meal during Transport and Storage”, Journal of Food research, Vol.1 pp.320-329 2012
- [4] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Xin-Rui Li, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Study on Thermal Behaviour and Risk Assessment of Biomass Fuels” International Journal of Energy Engineering, Vol.2 No5 pp.242-252 2012
- [5] Hiroshi Koseki, Naoharu Murasawa, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Cause and Countermeasure Way of Rubble Fires Occurred after 2011 Great Earthquake of Japan”, Procedia Engineering, Vol.45 pp. 617-627 2012,
- [6] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, “Causes of accidents by Soy Sauce Squeezing Residue and Fish meal”, Material cycle and Waste Management, Vol.15 pp.42-48 2013 (IF 0.7)
- [7] 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 佐伯孝夫, 坂本尚史, “発酵による発熱を原因とした瓦礫類の火災危険性について” 日本火災学会論文集 第 62 巻第 2・3 号 pp.17-25 2012
- [8] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Risk assessment of woody biomass fuels and waste using high-sensitivity calorimetry and gas chromatography” Waste and Biomass Valorization (Accepted)
- [9] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Study on causes of the fires in rubble piles produced after Great East Japan Earthquake 2011” Fire and Materials (Accepted) (IF 1.18)

- [10] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Investigation of the Heat generation and Spontaneous ignition of disaster waste generated after the 2011 Great East Japan Earthquake” Fire Safety Journal Vol.59 pp.178-187 2013 (IF.1.67)

その他研究業績（査読有り 計7本：第1著者7本）

- [1] 村沢直治, 高黎静, “魚粉の自然発火に関する研究”, 千葉科学大学紀要”, 第3号 pp.131-135 2010
- [2] 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 池田光美, “醤油かすの酸欠事故と自然発火の危険性について”, 安全工学会 安全工学 51 pp.35-40 2012
- [3] 村沢直治, 古積博, 岩田雄策, 佐伯孝夫, 坂本尚史, “発酵発熱を原因とした災害廃棄物の自然発火危険性について”, 公益社団法人全国都市清掃会議 都市清掃 Vol.65 No308 pp.78-83 2012
- [4] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, “Lessons learned from accidents of soy sauce squeezing residue – risks of spontaneous ignition and oxygen deficiency” Loss Prevention Bulletin, Issue 224 pp.14-17 2012
- [5] 村沢直治, “東日本大震災後における瓦礫火災”, 日本火災学会 火災誌, 奨励賞紹介記事, Vol.62 No4 pp.19-20 2012
- [6] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Lessons learned from fires of the Rubble- Risks of spontaneous ignition caused by the microbial activity -” Loss Prevention Bulletin, Issue 226 pp.16-19 2012
- [7] Naoharu Murasawa, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Causes of spontaneous ignition by disaster waste generated after Great East Japan Earthquake” Recycling: Technological Systems, Management Practices and Environmental Impact, pp.225-240 2013

学会発表等（計 14 回：登壇 12 回）

- [1] 村沢直治, 高黎静, “醤油かすの自然発火性に関する研究”, 平成 21 年日本火災学会, 5/19-20 2009
- [2] Lijing Gao , Naoharu Murasawa, “Risk Analysis on Spontaneous Ignition of Soy Sauce Squeezing Residue”, 2nd International Conference On Risk Analysis and Crisis Response 10/ 19-21 2009
- [3] 村沢直治, 高黎静, “動植物性残渣の自然発火”, 平成 22 年日本火災学会 5/17-18 2010
- [4] 村沢直治, 高黎静, 岩田雄策, 古積博, 長谷川和俊 “醤油かすおよび魚粉の蓄熱発火に関する研究”, 消防研究センター研究懇話会 11/9 2010
- [5] Naoharu Murasawa, Lijing Gao, Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Kazutoshi Hasegawa, “Lessons learned from spontaneous ignition of stored food waste and recycling materials”, International Symposium on Industrial Safety and health 11/5 2010
- [6] 村沢直治, 高黎静, 長谷川和俊, 岩田雄策, 古積博, “醤油かす等の蓄熱発火挙動に関する研究”, 第 43 回安全工学研究発表会 11/11-12 2010
- [7] 村沢直治, 岩田雄策, 古積博 , 長谷川和俊, “醤油かす等の蓄熱発火に関する研究”, 第 10 回廃棄物安全研究会 3/3 2011
- [8] 村沢直治, 長谷川和俊, 岩田雄策, 古積博, “醤油かす等の微小発熱挙動に関する研究”, 平成 23 年日本火災学会 5/16-17 2011
- [9] 村沢直治 ,古積博 ,岩田雄策, 坂本尚史, “東日本大震災で生じた瓦礫の火災危険性”, 消防研究センター研究懇話会 3/13 2012
- [10] 村沢直治 ,古積博 ,岩田雄策, 坂本尚史, “東日本大震災で生じた瓦礫類の自然発火について”, 第 13 回廃棄物安全研究会 3/14 2012
- [11] 村沢直治, 古積博, 岩田雄策,佐伯孝夫, 坂本尚史, “東日本大震災後における瓦礫火災について”, 平成 24 年日本火災学会 5/21-22 2012 （学生奨励賞受賞）
- [12] 村沢直治, 古積博, 岩田雄策,佐伯孝夫, 坂本尚史, “東日本大震災で生じた災害廃棄物の自然発火の危険性について”, 平成 24 安全工学シンポジウム 7/5-6 2012

- [13] Hiroshi Koseki, Naoharu Murasawa, Yusaku Iwata, Takabumi Sakamoto, “Cause and Countermeasure Way of Rubble Fires Occurred after 2011 Great Earthquake of Japan”, 2012 International Symposium on Safety Science and Technology 10/23-26 2012
- [14] Hiroshi Koseki, Yusaku Iwata, Naoharu Murasawa, Guillaume Doare, Joris Descamps, Gilles Dusserre, “Some parameters effects on occurrence of boiler”, 第 45 回安全工学研究発表会 11/29-30 2012

受賞歴

- [1] 平成 24 年度 日本火災学会 学生奨励賞

課外活動・社会貢献等

- [1] 海上保安試験研究センターと消防研究センター危険性物質研究室が合同で行っていた、スクラップ金属輸送船の火災原因調査に参加
- [2] 北海道苫小牧市消防本部と合同で、酸欠死亡現場の調査を行い、現場より試料を採取し調査結果をまとめ安全対策の提案を行った。
- [3] 宮城県名取市消防本部と合同で現地調査を行い火災現場より試料の採取を行い、調査結果をまとめ、消防本部へ安全対策の提案を行った。
- [4] 独立行政法人国立環境研究所の研究者と共に、災害廃棄物の仮置き場で調査を行い、仮置き場の設置基準等を含めた意見交換を行い、安全対策の提案を行った。
- [4] 愛知県名古屋市消防局消防研究室とごみ固化燃料に関して意見交換を行い、安全評価の支援を行った。
- [5] 日本海事検定協会と再生資源燃料に関して意見交換を行い、安全評価の支援を行った。
- [6] 安全工学会 研究会活動（企画委員会管掌）廃棄物安全研究会参加
- [7] 海外英文誌 Editorial board members and Reviewers 2 件従事

謝辞

本研究にあたり、ご指導・ご助言を頂いた千葉科学大学 大学院 危機管理学研究科 危機管理学専攻 坂本尚史教授、長谷川和俊教授、高黎静教授、総務省 消防庁 消防大学校 消防研究センター 技術研究部 危険性物質研究室、岩田雄策博士、古積博博士、村松寧氏、桃田道彦氏、平嶋哲夫氏には、深く感謝致します。

また、総務省 消防庁 消防大学校 消防研究センター並びに愛知県 名古屋市 消防局 消防研究室 柴田靖史博士、現地調査のサポートをしていただいた、北海道 苫小牧市 消防本部 池田光美氏、宮城県 名取市 消防本部 佐伯孝夫氏、独立行政法人 国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 遠藤和人博士には、多大なご支援をいただき、さらに、小倉醸造株式会社、株式会社鞍橋、山十商店には、試料提供にご協力いただいたことを、ここに記して感謝の意を表します。

資料

資料 1 災害廃棄物の火災事例

◆火災事例 1（宮城県 名取市）

火災の発生日時等

覚知 2011年9月16日（金） 7時39分頃

鎮火 2011年9月20日（火） 16時40分頃

火災発生場所

宮城県名取市 関上字東須加地内 東須加地区第1次仮置場西側

被害状況

人的被害 無し

物的被害 約 1200 m²

◆火災事例 2（宮城県 名取市）

火災の発生日時等

覚知 2011年9月19日（月） 3時06分頃

鎮火 2011年9月22日（木） 12時26分頃

火災発生場所

宮城県名取市 関上字東須加地内 東須加地区第1次仮置場東側

被害状況

人的被害 無し

物的被害 約 300 m²

◆火災事例3（宮城県 名取市）

火災の発生日時等

覚知 2011年9月22日（木） 5時59分頃

鎮火 2011年9月22日（木） 11時35分頃

火災発生場所

宮城県名取市 名取市小塚原字西土手外地内 小塚原地区第1次仮置場

被害状況

人的被害 無し

物的被害 約100 m²

資料 2 肉骨粉の火災事例

◆火災事例 1 (鹿児島県 鹿児島市)

火災の発生日時等

発生 2001 年 12 月 3 日 (月) 5 時 27 分頃 (早朝)

覚知 2001 年 12 月 3 日 (月) 5 時 35 分頃

鎮火 2001 年 12 月 3 日 (月) 5 時 55 分頃

天候等

快晴 気温 10 °C

火災発生場所

鹿児島県鹿児島市 鉄骨平屋建て倉庫

火災発生場所の状況

BSE (Bovine Spongiform Encephalopathy 牛海綿脳症 狂牛病) 感染問題が発生し、大きな社会問題となり、肉骨粉が感染源として疑われ、3 ヶ月間出荷停止となったため、通常より多くの量が倉庫内に貯蔵されていた。肉骨粉は、トランスバックと呼ばれている化学繊維で編み込んだ袋に入れられており、倉庫の内部には、約 2000 袋のトランスバックに入れられた肉骨粉が貯蔵されていた。

火災時の状況

堆積させた肉骨粉の表面の半分程度が燃えていた。堆積させた肉骨粉の内部は、水が浸透した場所以外、燃えてはいなかった。火災時に煙が大量に出たのに対して、火炎はあまり出ていなかった。倉庫の床に焼け跡 (20 cm×40 cm) が残っており、ちょうどその真上が屋根の雨漏りの部分であった。消防隊が放水を開始すると約 15 分で鎮火し、その後残火処理を行った。倉庫内部に物的被害はあったが、幸い人的な被害はなかった。

被害状況

人的被害 無し

物的被害 約 1241 m² (倉庫内)

◆火災事例 2 (栃木県 宇都宮市)

火災の発生日時等

発生 2002年9月22日(日) 19時45分頃

覚知 2002年9月22日(日) 20時08分頃

鎮火 2002年9月22日(日) 21時06分頃

天候等

雨(降水量4mm) 気温18℃

火災発生場所

栃木県宇都宮市 鉄骨造2階建倉庫

火災発生場所の状況

2001年10月頃から円柱型のビニール製トランスバック(直径1m×高さ1m 約800kgから1000kg入り)に肉骨粉を収納していた。トランスバックを3～5段に立て積みして、1560tの肉骨粉を倉庫内部に保管していた。

火災時の状況

出火地点は、倉庫の奥の方であったトランスバックからである。肉骨粉を収納したトランスバックが、5段に立て積みにされていた。肉骨粉は、火炎を出して燃え、その火炎は倉庫の天井まで達した。消防隊は火炎に向かって放水し、肉骨粉を掻き出して火災を鎮圧した。倉庫内部に物的被害はあったが、幸い人的な被害はなかった。

被害状況

人的被害 無し

物的被害 保管されていた肉骨粉のうち約470tが焼失し、建物内部が損傷後、天井が焼け落ちた。

資料 3 醤油かすの火災事例

◆火災事例 1 (千葉県 銚子市)

火災の発生日時等

発生 1999年9月10日(金) 1時01分頃

鎮火 1999年9月10日(金) 3時59分頃

天候等

天候 曇り 気温 24.8℃

火災発生場所

千葉県銚子市三崎町 鉄骨平屋建て倉庫(醤油かす飼料貯蔵倉庫)

火災時の状況

醤油かすの2次加工が終了した製品は、20 kg 入りの紙袋に詰められる。この紙袋に詰められたものが、5 段重ねでパレットに積み上げられ、貯蔵されていた状況において出火した。紙袋に詰められた製品が炎上し、鉄骨平屋建ての倉庫へ延焼。紙袋に詰められ、積み上げられた製品に放水してもあまり効果が得られず、1 度製品を鉄骨平屋建て倉庫の外へ運び出し、その後消火活動にあたった。

被害状況

人的被害 無し

物的被害 鉄骨平屋建て倉庫に延焼

資料 4 魚粉の火災事例

◆火災事例 1 (千葉県 銚子市)

火災の発生日時等

発生 1965 年 7 月 2 日 (金)

天候等

気温 22.3 °C

火災発生場所

千葉県銚子市長塚町 木造平屋建て(魚粉飼料工場)

火災時の状況

2 次加工を施され製品化された魚粉が、激しく燃え上がり木造平屋建て倉庫が全焼した。

被害状況

人的被害 無し

物的被害 木造平屋建て倉庫が全焼

◆火災事例 2 (千葉県 銚子市)

火災の発生日時等

発生 1976 年 4 月 3 日 (金)

天候等

気温 6.7 °C

火災発生場所

千葉県銚子市長塚町 鉄骨平屋建て (魚粉飼料工場)

火災発生時の状況

2次加工を施され製品化された魚粉が、激しく燃え上がり鉄骨平屋建て倉庫が全焼した。

被害状況

人的被害 無し

物的被害 鉄骨平屋建て倉庫が全焼

資料 5 醤油かすの酸欠事例

◆酸欠事例 1 (北海道 苫小牧市)

酸欠の発生日時等

発生 2010 年 11 月 8 日 (金)

天候等

気温 6.5 °C

発生場所

北海道苫小牧市 貯蔵倉庫

発生時の時系列概要

16 時頃	倉庫にてカビ取り作業開始のため作業員が入庫、意識不明となる。
16 時 23 分	消防覚知 (救急車要請)
16 時 33 分	消防隊最先着 (救急救助出動)
16 時 35 分	1 人目の作業員救出
16 時 39 分	救出された作業員の搬送
16 時 52 分	2 人目の作業員救出
16 時 57 分	2 人目の作業員の搬送・倉庫内の酸素濃度 (消防隊測定)
16 時 55 分	8.7 %
17 時 02 分	10.0 %
17 時 06 分	11.0 %
17 時 21 分	21.0 %

発生時の状況

1 袋 500 kg のフレコンバッグにつめられた醤油かすが、200 袋保管されている倉庫内において、作業員 3 名が、カビを除去する作業を実施しようとした。外部から倉庫のシャッターを開こうとしたが、開かなかったため近くの開口部から 1 名が進出し、倉庫の内部からシャッターを開こうとした。しかし、進出した作業員からの応答がとだえた。異変を感じた他の 2 名の作業員が、同じ開口部より倉庫内に進出した。進入後の倉庫内において、体調に異変を感じ、進入開口部に戻ろうとしたが、

途中で 1 名が倒れ、脱出できた作業員が事務所に駆け込み、救急隊の出動を要請した。この事故により、作業員 2 名が死亡した。

被害状況

人的被害 死亡 2 名 (作業員)

物的被害 無し

資料 6 三重ごみ固形化燃料発電所での RDF の火災・爆発事例

◆火災・爆発事例 1 (三重県 多度町)

火災・爆発の発生日時等

発生 2003年8月14日(木)3時10分頃 熱風により作業員4名が負傷(中等症1名 軽症3名)

2003年8月19日(火)14時18分頃 爆発により消防職員が2名死亡

鎮火 2003年9月27日(土)

火災発生場所

三重県桑名郡多度町ごみ固形化燃料(RDF)発電所

発電所の概要

- ・施設名称：三重ごみ固形化燃料発電所
- ・所在：三重県桑名郡多度町大字力尾字沢地9番3
- ・設置年月日：2002年12月1日
- ・処理方法：三重県内26市町村から排出されたごみを7施設でRDF化し、本施設で発電用燃料として使用

発生時の状況

ごみ固形化燃料(RDF: Refuse Derived Fuel)を約600t貯蔵する貯蔵層(サイロ)で、異常な発熱がみられ、8月14日に貯蔵層下部で爆発が起こり、噴出した高温のRDFにより作業員4名が火傷を負った。その後、消防署に通報し、消防本部による放水が開始された。8月19日に、放水量を倍増して消火活動を実施中に、貯蔵層上部で爆発が発生し、貯蔵槽上屋部分が吹き飛び、その上で作業を行っていた消防隊員2名が死亡した。以降は、大量放水を継続しながら貯蔵層内に残留していたRDFの排出作業も並行して行い、9月27日にようやく鎮火が確認された。

被害状況

人的被害 負傷4名(作業員)死亡2名(消防隊員)

物的被害 広範囲にわたる焼損