解説

災害廃棄物の自然発火とその対策

古積 博, 村沢 直治

千葉科学大学 危機管理学部

(受取日:2015年10月15日,受理日:2016年1月9日)

Spontaneous Combustion and Safety Measures for Disaster Wastes

Hiroshi Koseki and Naoharu Murasawa

Faculty of Risk and Crisis Management, Chiba Institute of Science

(Received Oct. 15, 2015; Accepted Jan. 9, 2016)

In order to understand and to propose a countermeasure for fires caused by accumulations of a huge amount of disaster waste (rubble), thermogravimetry – differential thermal analysis, high sensitivity calorimetry and gas chromatography were performed. It was found that the small heat generation by fermentation was one of triggers of the fire. We concluded that fermentation inside domestic waste, such as rotten tatami has the highest potential for the spontaneous combustion.

Keywords: The Great East Japan Earthquake, disaster waste (rubble), spontaneous combustion, heat by fermentation, thermal analysis



古積 博 Hiroshi Koseki E-mail: hkoseki@cis.ac.jp



村沢 直治 Naoharu Murasawa E-mail: n-murasawa@cis.ac.jp

1. はじめに

2011 年 3 月に発生した東日本大震災や 2015 年 9 月の豪 雨で起きた鬼怒川決壊等により建物被害や津波によって大 量の災害廃棄物が生じ、その処理が大きな問題となった。 また、貯蔵中に多数の火災が生じ、その対応のために地元 消防は苦慮した。¹⁻³⁾大量の廃棄物(がれき)の火災の原 因としては、がれき中の金属(粉)の発熱発火、電池類、油 類の発火・引火, 放火等, 様々な可能性が考えられたが, 火 災のトリガーとしてがれき中に存在する微生物の発酵の可 能性があることが明らかになった。過去に日本国内では発 酵等を引き金として、大量に不法投棄された廃棄物から出 火した事例、3) 廃棄物の埋め立て処理を行った場所から可 燃性ガスが噴出し爆発に至った事例⁴⁾が報告されている。 東日本大震災発生から半年経過した2011年9月頃から災害 廃棄物の仮置き場で火災が相次いで発生し、地元消防が対 応に苦慮していた。そのため、著者らは名取市(閖上及び 小塚原)等で原因調査を行った。3)火災現場から出火に関 係する物質を採取し, 高感度熱分析装置やガス分析装置を 組み合わせて実験を行い堆積時等における危険性や安全対 策に関する検討を行った。また,清水ら⁵⁾や水田ら⁶も廃 棄物の発火機構について研究を行っているので, これらの 研究も含めて紹介する。

災害廃棄物に起因する火災

名取市内の震災廃棄物集積所での火災事例を Photo.1 に 示す。被災建物等の廃棄物は大量に積み上げらており消防 活動は困難を極め、ヘリコプターによる空中消火も行われ たが、火災は約1週間にわたって続いた。環境省等の調査 結果を基にして東日本大震災が発生した 2011 年 3 月 11 日 からの1年間を対象として、火災事例の調査を行った。^{3,7)} 火災の月別の発生件数をまとめたものを Fig.1 に示す。46 件の災害廃棄物に起因する火災が発生していることがわか った。特に、8 月から 9 月にかけて草木系の災害廃棄物か らの出火がみられた。その後、気温が低くなっていく 10 月 に入って出火件数が少なくなり、翌年の 2012 年 3 月にかけ て、再び草木系の災害廃棄物や混合廃棄物を堆積させた場 所からの出火が見られた。



Photo.1 Fire of rubble pile at Yuriage, Natori.

3. 消防研究センター等による調査研究

3.1 研究方法

3.1.1 試料

著者らが用いた試料(畳)の一例を Photo.2 に示す。試料は名取市内の火災現場の堆積物残さから採取を行った。



Fig.1 Monthly occurrence of rubble fires $^{3,7)}$ (March 11, 2011 \sim March 12, 2012).

また,含有水分の影響を検討するため,試料量に対して 蒸留水 20% (重量)を添加したものについても測定を行っ た。さらに,微生物発酵⁸⁾により微小の発熱や温度上昇等 の影響を確かめるため,酸化エチレン (EOG)を用いて,滅 菌処理を施したものも用いた。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滅菌するた めに幅広く用いられている。⁷⁾



Photo.2 Example of tests sample (Tatami at Yuriage).

3.1.2 熱重量·示差熱分析

熱重量・示差熱分析計(Thermogravimetry-differential thermal analysis: TG-DTA)は、RigakuTG8120(リガク製)を使って、室温から 600 ℃までの試料の全体的な熱的性状を調べた(昇温速度: 2 K min⁻¹)。

3.1.3 双子型高感度熱量測定

試料からの微小発熱を測定するため、高感度熱量計を使用した。双子型高感度熱量計 (Calvet-type calorimeter C80, フランス Setaram 社)は、g単位の試料の熱量測定が可能な 双子型の高感度な伝導型熱量計である。高圧試料容器を使 用するため、水分蒸発による吸熱を抑えながら 100 ℃以 下でのより詳細な熱挙動情報が得られる(昇温速度: 0.1 K min⁻¹)。

3.1.4 等温型高感度熱量測定

時間変化に伴う発酵や酸化による微小発熱の検討を行う ため、等温型高感度熱量計として、Thermal activity monitor (TAM-III,スエーデン Thermometric 社)を用いた。TAM-IIIは、精密に温度制御された恒温槽(温度変化 < ± 0.0001 $\mathbb{C}/24$ 時間)を持つ等温型の高感度熱量計であり 様々な物質の安定性等の検討に用いられている。約 1000 mgの試料を密閉型試料容器(4 ml)に入れて,50 ℃で72 時間等温保持し,発熱量の測定を行った。

3.1.5 発生ガス分析

試料の微生物発酵と生成ガスの爆発の可能性を調べるた め、発生ガスの分析を行った。試料を約25 ℃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 (Gas Chromatography: GC)を使って分析を行った。GCは、 島津 GC-14B を用い、その測定条件は、検出器:TCD、キャ リアガス:アルゴン、カラム:活性炭系、カラム温度:昇温 (40~150 ℃)とした。また、ガスは標準ガスを作製して 校正した。

3.2 結果と考察

3.2.1 熱重量·示差熱分析

昇温速度を 2 K min⁻¹とした場合の TG-DTA 測定の結果 を Fig.2 から Fig.5 に示す。また、室温から 100 \mathbb{C} までの重 量減少と熱分解開始温度をまとめたものを Table 1 に示す。 熱分解開始温度は、DTA 曲線において、安定したベースラ インより 0.1 μ V(温度 0.01 K に相当)発熱方向にシフトし た温度とした。



Fig.2 TG-DTA results for Yuriage rotten tatami.



Fig.3 TG-DTA results for Yuriage wood chip, TG curve was disturbed by strong heat generation at around 400 $^{\circ}$ C.

試料の熱分解は、おおむね3段階に分かれて起こっている。 室温から100℃の温度領域において、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閖上腐食畳であった。その後は、 発熱、重量変動が少なかったが、180~380℃の温度領域で は、いずれの試料も有機物の熱分解によるものと思われる 重量減量がみられた。⁹⁻¹⁰⁾それ以降の温度領域においては、



Fig.4 TG-DTA results for Kodukahara rotten tatami.



Fig.5 TG-DTA results for Kodukahara tatami.

Table 1Mass loss at 100 °C and decomposition temperature(TG-DTA results).

Sample	Mass loss at 100°C (%)	Decomposition temperature (°C)
Yuriage rotten tatami	49.0	160.7
Yuriage wood chips	12.1	163.5
Kozukahara rotten tatami	16.6	166.8
Kozukahara Tatami	9.1	171.3

炭化物の燃焼による重量減少と発熱が観測された。いずれ の試料も熱分解開始温度は概ね,160~170℃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。

3.2.2 双子型高感度熱量測定

試料(採取物, EOG 処理物)を昇温速度 0.1 K min⁻¹で 300 ℃まで測定した結果を Fig.6 から Fig.9 に示す。また, 発熱開始温度をまとめたものを Table 2 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。

閖上腐食畳・閖上木材チップ・小塚原腐食畳の場合,測 定開始直後(25℃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,80~100℃の温度領域では,含まれる脂肪酸エステル 等の酸化によるものと考えられる発熱が観測され,EOG処 理はこれらの発熱には影響せず、微生物発酵によるものではないことは明らかである。¹¹⁻¹²⁾

脂肪酸エステル等の油脂類は,室温(25℃)付近におい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。約50℃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。^{5,6,13)}このため,今回のC80の50℃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、試料に含まれる有機物等の熱分解 によるものと思われる大きな発熱が観測された。これらの 物質の発熱から発火へのプロセスとして、まず微生物発酵 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廃棄物に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



Fig.6 C80 results for Yuriage rotten tatami.



Fig.7 C80 results for Yuriage wood chip.







Fig.9 C80 results for Kozukahara tatami.

 Table 2
 Heat generation onset temperature (C80).

Sample	Heat generation onset temperature ($^{\circ}$ C)		
Yuriage rotten tatami	28.96		
EOG Yuriage rotten tatami	43.2		
Yuriage Wood chip	29.44		
EOG Yuriage Wood chip	52.3		
Kozukahara rotten tatami	25.52		
EOG Kozukahara rotten tatami	45.2		
Kozukahara Tatami	84.23		
EOG Kozukahara Tatami	85.35		

が考えられる。従って、内部温度のモニタリングが重要で ある。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。内部温度が 50℃以上 80℃以下であった 場合は、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、かつ、空気(酸素)があれば温度上昇により、反応 が進む。そのため、堆積物全体や法面(Photo 3)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、放 熱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、その後の発酵発熱による温度上昇に十分注意を払 う必要がある。



Photo.3 Slope covers to restrict oxygen inflow.

3.2.3 等温型高感度熱量測定

TAM を 50 ℃に設定して測定を行った結果の一覧を, Fig.10 から Fig.13 に示す。また,発熱量をまとめたものを Table 3 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 ℃と設定した理由は、多くの微生物 の活動が、約 40~50 ℃近辺で活発に起こり、それよりも 高い温度領域では、徐々に不活性となっていくためであり、 また、過去の測定データと比較が可能な 50 ℃を TAM の設 定温度とした。¹²⁾

小塚原腐食畳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(Fig.12)。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。

小塚原畳に関しては,発熱量が約7.3 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 急激に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。これは,急激 な発熱はしないため,試料容器内の酸素が残り,好気性発 酵が続いたためと考えられる。また,水分添加した試料の 測定結果から考えると,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。

堆積物の冷却や消火のため,放水を行った場合,放水し た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「発酵を起こす 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。



Fig.10 TAM results for Yuriage rotten tatami.



Fig.11 TAM results for Yuriage wood chip.



Fig.12 TAM results for Kozukahara rotten tatami.



Fig.13 TAM results for Kozukahara tatami.

Table 3 Heat generation at 50°C (EOG untreated samples).

Sample	Heat generation (J/g) 0–24 h	Heat generation (J/g) 24–72 h	Heat generation (J/g) 0–72 h
Yuriage rotten tatami	11.59	2.24	13.83
Yuriage rotten tatami +Distilled water 20%	13.88	3.11	16.99
Yuriage Wood chips	4.76	6.30	11.06
Yuriage Wood chips + Distilled water 20%	12.28	1.88	14.16
Kozukahara rotten tatami	13.76	3.06	16.82
Kozukahara rotten tatami + Distilled water 20%	16.31	6.54	22.85
Kozukahara Tatami	2.13	1.21	3.34
Kozukahara Tatami + Distilled water 20%	13.18	11.17	24.35

3.2.4 ガス分析

GC による発生ガス分析の結果(試料容器内のガス濃度 分析)をTable4に示す。各セル上段に示したEOG未処理 の試料の結果を見てみると,閖上腐食畳・閖上木材チップ・ 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EOG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。

EOG 処理を行った試料に関しては、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 やメタン発生の理由として、好気性の発酵以外に、嫌気性 の発酵が行われている可能性が高い。¹⁵⁻¹⁶⁾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。

Table 4	Results	for	emitted	gas	from	samples	measured	by
GC.								

Sampla	Gas concentration (Vol. %)					
Sample	O_2	N ₂	H ₂	CH ₄	CO ₂	
Yuriage	1.75	77.43	0.082	0.063-	17.32	
rotten	19.02	-	-	-	-	
tatami						
Yuriage	0.98	72.81	0.10	-	20.19	
rotten						
tatami	18.39	77.75	-	-	0.86	
+Distilled						
water 20%						
Vuriage	1.49	73.26	1.12	-	18.45	
Wood chips	19.85	77.65	-	-	0.05	
wood emps						
Yuriage	1.55	69.62	0.029	-	22.78	
Wood chips						
+ Distilled	19.47	76.97	-	-	-	
water 20%						
Kozukahara	5.34	73.79	-	-	0.11	
rotten	20.30	77.63	-	-	-	
tatami						
Kozukahara	1.47	78 53	0.084	_	1/1 0 1	
rotten	1.7/	10.55	0.004	-	14.71	
tatami +	20.29	76.68	_	_	_	
Distilled	20.27	10.00				
water 20%						
	19.23	77.98	-	-	0.12	
Kozukahara	19.85	77.02	-	-	0.05	
Tatamı						
Kozukahara	13.59	77.55	0.021	-	5.52	
Tatami						
+ Distilled	19.65	76.54	-	-	-	
water 20%						
Water 2070						

Remark : In the table, upper columns are of EOG untreated materials and lower columns are of EOG treated materials.

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 能性があると考えられる。

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。¹⁷⁻¹⁹ 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,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、温度のモニタリングを行う以外に、パイプを打ち込み (Photo.4)、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。



Photo.4 Pipes for the release of heat and gas monitoring.

4. 火災発生へのメカニズム

著者らによって得られた結果等に基づいて,発酵する可 能性のある災害廃棄物の火災発生機構を模式的に示す

(Fig.14)。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 ℃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。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微生物発酵が 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。

著者らは、火災発生の初期段階に絞って実験を行ったが、 微生物死滅後の温度上昇については、清水ら、⁵⁾水田ら⁹に よって研究がなされている。木材等に含まれる油類の酸化 反応が引き続き起こるとされているので、これらの知見を 基に火災発生機構が明らかにできる。100℃近辺に達する と、含有水分の蒸発による一時的な吸熱が生じ、内部温度 が低下する。蒸発がある程度終えると、再び温度が上昇し、 木材等に存在するセルロースの熱分解を経て火災に至るこ とが考えられる。



Fig.14 Combustion mechanism in stored waste.

5. 災害廃棄物の防災対策に関する 最近の研究の成果と今後の課題

5.1 災害廃棄物の防災対策に関する最近の研究の成果

災害廃棄物が大量にあった場合,微生物発酵による微小 発熱の蓄熱をトリガーとして火災となる可能性があり,大 量に保管する場合には,温度管理や大量のガス発生の確認 等,安全管理を十分行わなければならない。

1) 廃棄物,特に,使用中の畳には,大量の微生物が存在し, 津波や水害によって水分を含むとその活動は活発となり, 発熱,ガス発生する。微生物発酵は,空気(酸素)が十分存 在する場合には,好気性発酵,足りない場合には,嫌気性 発酵となる。前者は,発熱量が大きく,蓄熱発火になりやす く,後者は,メタン等の可燃性気体を生じ,爆発を起こす 可能性がある。

2) 震災廃棄物は、再生資源燃料と同様に火災危険性を有している。ただ、長期間の保管によって、その蓄熱発火危険性は、徐々に低下する。腐食畳と木材チップは、25 ℃前後から発酵によるものと考えられる発熱が観測され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り、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) 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、降雨や気温上昇期は、特に、火災発生に関して警戒 が必要である。また、放水によって一旦火災が鎮火しても、 大量の水分を含むため、微生物発酵が進み、再燃する可能 性がある。そのため、消火後も十分注意を払うことが必要 である。

4) 腐食畳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。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 見られる前に,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好気性発酵に よる発熱を防ぐ観点から望ましいと考えられる。

5.2 今後の課題

5.2.1 放射性廃棄物等への対応

2011年の福島第一原子力発電所の事故後,発電所周囲に 大量の放射性廃棄物が生じ、また、その後の土壌等の除染 作業でも放射性廃棄物が生じている。これらは、福島県や その周辺の県で仮置きされているが、今後、中間貯蔵施設 への移送が進むことになっている。これらは、貯蔵中、場合 によっては、内部で微生物発酵して発熱し、また、ガスが 発生している。その結果,可能性は小さいが,火災爆発が起 こらないとも限らないので,防災面からの監視が必要にな る。また,水害によって生じる廃棄物,大地震の後に生じる であろう火災の残さ物からも自然発火する可能性がある。 これらの廃棄物から作る再生資源燃料の危険性評価等,検 討すべき対象は多々ある。また,その防火管理,消防対応の 研究も重要である。今後も引き続き,様々な廃棄物の蓄熱 発火等について検討を進めていきたい。

5.2.2 分別土壌等の活用とその評価の研究

震災で生じた大量の土壌は現在余り有効活用されていないが、埋め立て等への有効活用が求められている。独立行政法人国立環境研究所が中心になって行われている研究では、埋め立てに使った場合に長期の間に有機物の酸化のために土壌の減量がどの程度進むのか、また、発酵による発熱やガス発生があるのかといった点について屋外での実験も含めて行われている。ごみ固形化燃料(Refuse Derived Fuel: RDF)や木材チップのような再生資源燃料に比べれば、可燃物の割合が小さく、火災危険性は小さいといえるが、埋め立て地では、過去に東京夢の島でのガス爆発事故、姫路市埋め立て地での爆発事故等時々、可燃性ガスの発生によって爆発事故が起きており、十分な安全対策を取っておく必要がある。¹⁴⁾

文 献

- 消防研究センター、平成23年(2011年)東北地方太平 洋沖地震の被害及び消防活動に関する調査報告書 (第1報,消防研究技術資料第82号 (2011.12)).
- N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, K. Suzuki, H. Tamura, and T. Sakamoto, *Loss Prevention Bull.* 226, pp.16-19 (2012).
- 3) 村沢直治,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(学位論文)(2013.9).
- 4) 姫路市・網干健康増進センター事故に係る調査・安全 対策検討委員会,網干健康増進センター事故に係る調 査報告書 (2011).
- 5) Y. Shimizu, M. Wakakura, and M. Arai, J. Loss Prevention in Industries in the Process Industries 22(6) 1-6 (2009).
- 6) R. Mizuta, Y. Iwata, and A. Miyake, J. of Thermal Analytical Calorimeter **121** 361-369 (2015).
- 7) N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, K. Suzuki, H. Tamura, and T. Sakamoto, *Fire Safety Journal* **59**, 178-187 (2013).
- 8) 栗冠真紀子, RDF (ゴミ固形燃料)の微生物學的解析, 三重大学 (学位論文) (2007.7).
- 9) 森尻宏, 第 52 回全国消防技術者会議資料, pp.37-42 (2004).
- N. Murasawa, H. Koseki, Y. Iwata, and Y. Shibata, J. Food Research 1, 320-329 (2012).
- 11) 園田頼和, 発酵と工業 34(4), pp.248-257 (1976).
- 12) 大和市消防本部, 月刊消防, 28(2), 11-16 (2006).
- 13) N. Murasawa, H. Koseki, and Y. Iwata, *Loss Prevention Bull.* **224**, 14-17 (2012).
- 14) 古積博, 坂本尚史, 遠藤和人, 岩田雄策, 第 47 回安全 工学研究発表会講演予稿集, 83-86 (2014).
- 15) 村沢直治, 古積博, 坂本尚史, 岩田雄策, 佐伯孝夫, 安 全工学 54(5), 378-386 (2015).
- 付記:本原稿は,安全工学誌54巻5号(災害事例分析「災 害廃棄物の安全対策」¹⁵⁾)をベースに作成しており ます。