

研究課題名・研究番号＝廃棄物処理施設の爆発火災事故事例解析に基づく安全管理手法の構築

国庫補助金精算所要額（円）＝55,967,000

研究期間（西暦）＝2005-2006

代表研究者名＝武田信生（京都大学）

共同研究者名＝大下和徹（京都大学）、若倉正英（神奈川県産業技術センター）、三宅淳巳（横浜国立大学）

研究目的＝廃棄物処理に関しては一般産業に比較して、労働災害事故の発生率が多いが、これは組成が複雑で不均一な廃棄物を取り扱うため、安全対策を標準化することが難しいこと、焼却やエネルギー回収は可燃性物質に多大なエネルギーを加えるケースが多いため、潜在的な危険性が高いことなどが考えられる。一方、労働災害以外においても、2003年8月に三重ごみ固形燃料(RDF)発電所の貯蔵施設で起こった発熱・発火事故や、汚泥消化ガスエンジンの爆発など、様々な火災や爆発が発生し大きな問題となってきた。このように大きな事故が起こった際には、事故対策委員会などが緊急設置され、事故原因の究明や事故後の対策などが徹底的になされ、一定の成果が得られるが、得られた知見や教訓は、再び類似の事故が起こった場合や、同種の廃棄物処理施設における安全対策に十分に生かされているとはいえない現状にある。

以上のような背景の下で、廃棄物処理施設で多発する事故を効率的に防止していくためには、実証実験に基づいて事故メカニズムを明らかにするとともに、事故要因を解析するだけではなく、それらの結果を、様々な場で活用できる形の安全知識としてデータベース化し情報提供することが必要である。

そこで、本研究では、環境化学、廃棄物工学、安全工学の各分野における知見を連携させて、それに基づく事故の実証的な解析、および事故要因・起因事象などを知識化し、事故を未然防止するための安全管理手法を構築することを目的とした。

研究方法＝研究は主に3つに分けることができ、それぞれについて研究方法を示した。

（１）事故事例解析

多発する廃棄物処理施設における事故を効果的に防止していく一つの方策として事故事例解析による事故原因の洗い出しが求められている。そこで日本廃棄物処理施設技術管理者協議会が実施している事故事例調査結果の報告書^{1)・2)}を基に1996-1999年、2000-2003年における事故事例解析を行った。

具体的な解析方法としては、まず、事故発生割合を、労災、火災、爆発、中毒の4つに分類し明らかにした。次に火災、爆発、中毒について一般・産業廃棄物処理施設における事故について、事故の起因物質と起因装置を整理・分類・集計し、それぞれの組み合わせを解析することで、事故の起因となる物質のハザードがどのような操作により具現化されるのかを明らかにするとともに、事故防止のために重点的に安全化対策を講じるべき物質、装置を抽出した。

（２）事故事例の実証試験

既に起こってしまった事故について、事故メカニズムの把握を行うことは、今後類似の事故を防止して行くために必要不可欠である。そこで、過去におこったいくつかの典型的な事故事例に基づいた基礎実験による事故メカニズムの把握を行った。

以下に本研究で行った主な事故事例と実証実験についてその方法の概要を示した。

１）生ごみ堆肥化装置爆発事故（2003年11月発生）

本事故の爆発原因を明らかにするために、堆肥化装置内のサンプルについて、高圧示差熱天秤による測定結果、発生ガスの分析結果、自然発火試験、メタン菌の菌相解析を行った。

２）消化ガスエンジン爆発事故（2003年7-8月発生）

この、事故原因は、消化ガス中に含まれるシロキサン（有機ケイ素化合物）であるとされている³⁾。そこで、類似の施設における A 下水処理場での消化ガス中シロキサンをサンプリング、分析し、消化ガス中シロキサンの濃度へ影響を与える因子を明らかにした。さらに、ガスエンジン内付着物を分析し、発生事故との関連性を考察した。最後に事故サイト、および A 下水処理場でのエンジンメンテナンス頻度、およびエンジンへの流入シロキサン濃度から、A 下水処理場での事故防止対策を提案した。

3) 廃油タンク爆発事故（1997 年 5 月発生）

この事故の原因は、廃油中に含まれるアクリロニトリルが、別の廃油中に含まれていた有機過酸化化物と重合反応を起こしたことが原因とされている。そこで、アクリロニトリルや、各種の酸・アルカリと、各種有機過酸化化物と、試験管、デュワー瓶による混合試験、および示差走査熱量測定(DSC)による段階的な発熱測定を実施し、ハザードランクをⅠ～Ⅳに分類するための各試験における評価基準値を決定した。

4) ごみ固化燃料（RDF）の火災危険性に関する検討（2003 年 8 月発生）

2003 年 8 月 14 日と 19 日に三重県多度郡 RDF 発電所において発生した爆発事故⁴⁾については、各研究機関・大学等で事故原因や、RDF の火災危険性に関する様々な調査・研究が行われてきたが、その発熱・発火機構は十分に解明されていない、そこで様々な熱・化学分析機器を用いて RDF の発熱・発火機構について検討した。表 1 に検討項目と実験方法についてまとめたものを示した。

表 1 RDF 火災危険性の検討項目

検討項目	使用装置（メーカー）
1 RDF発火温度の測定	HP-TG/DTA(リガク)
2 断熱下でのRDF発熱挙動	ARC (SETARAM)
3 RDFの自然発火性の検討	SIT-2(島津製作所)
4 RDFに対する水分添加の発熱に対する影響	C80(SETARAM)
5 RDFの等温保持環境下における発熱測定	ARC(SETARAM)
6 RDFの化学発光による有機物酸化の測定	化学発光測定装置 ケミルネッセンスアナライザ (東北電子産業)

なお、本報告書概要版では、1) から 3) における実験結果は制約上省略し（詳細は、製本版の報告書を参照されたい。）、4) ごみ固化燃料（RDF）の火災危険性に関する検討の結果について、後述する「結果と考察」の部分に記載した。

（3）安全管理システムの構築

平成 17-18 年度の調査、事故解析、実証試験結果より、運転管理のみならず、行政の指導、安全教育、安全な設備設計も含めて、廃棄物処理に関わる管理者、作業者が、各々の作業に応じて安全管理に必要な情報が得られるインターフェースを、WEB 上で誰もが利用、情報提供できる安全管理情報システムとして構築した。

本研究における安全管理情報システムは事故事例データベース、危険物性データベース、危険性評価手法データベースの 3 つからなり、これらを組み合わせることで、互いに必要な情報を補完し合い、廃棄物処理施設における安全情報を包括的に提供することが可能になると考えられる。この安全管理システムの概念図を図 2 に示した。この概念図が示すように、この情報システムの対象

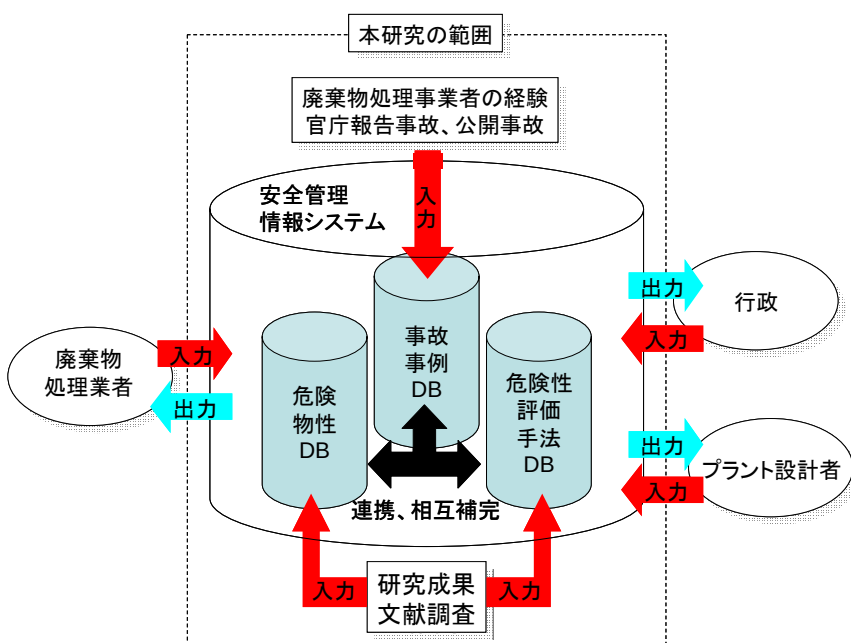


図 2 安全管理情報システムの概念図

この安全管理システムの概念図を図 2 に示した。この概念図が示すように、この情報システムの対象

者は行政、処理事業者、プラント設計者であり、「行政の安全指針の策定」、「廃棄物処理施設における安全管理マニュアルの策定」、「廃棄物処理事業者の教育」または「設備設計」時に有用な情報を提供することを目的としている。将来的に、この情報システムが十分に機能することになれば、廃棄物処理事業者自身による自主規制によって、廃棄物処理施設の安全化を図ることが可能になると考えられる。この安全管理システムのトップ画面のイメージを図3に示した。ユーザーがログインした際には、この画面が表示され、閲覧を希望するデータベースを選択することができる。システムの詳細（各データベースの概要や構成）は後述の「結果と考察」で示す。

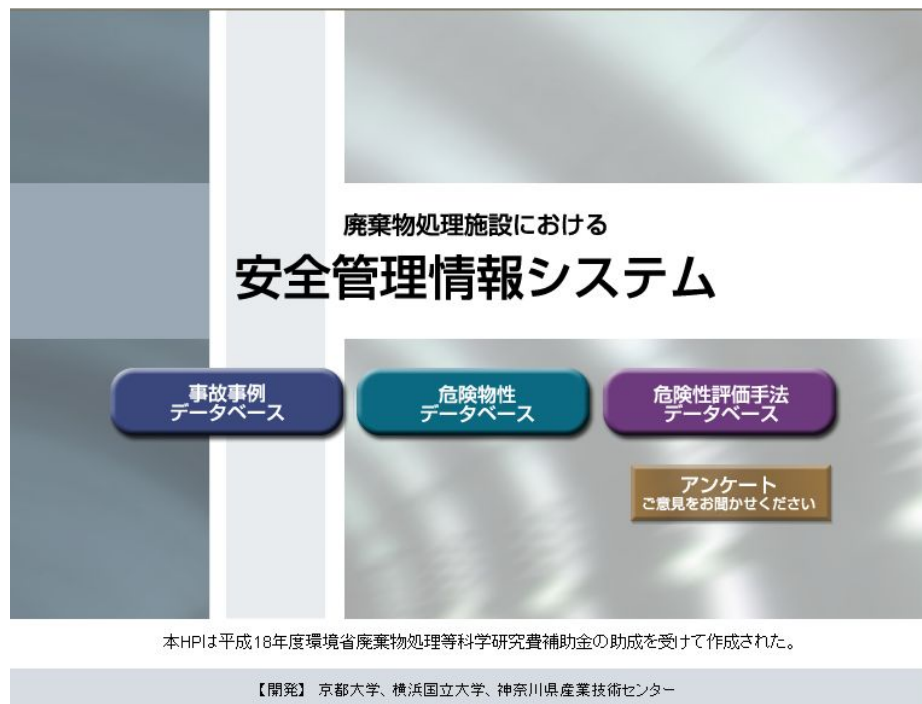


図3 安全管理情報システム（TOP画面）

結果と考察= 以下に本年度の研究について結果及び考察を示した。

（1）事故事例解析

1）事故発生割合

まず、1996-1999年、2000-2003年における総事故件数に対する、労災、火災、爆発、中毒事故の分類を図4、図5に示した。図4より1996-1999年の総事故件数に占める労災事故の割合は54%、火災事故の割合は16%、爆発事故の割合は18%、中毒事故の割合は1%であった。一方、図5より、2000-2003年の総事故件数に占める労災事故の割合は64%、火災事故の割合は16%、爆発事故の割合は11%、中毒事故の割合は2%であった。件数で比較すると、2000-2003年の事故総数は約400件で、1996-1999年との比較では10%減少していた。なかでも火災、爆発の発生件数は40%以上減少しており、これは、スプレー缶など混入危険物などの分別や、搬入物のチェックが徹底されてきたことによると考えられた。一方、労働災害に関し

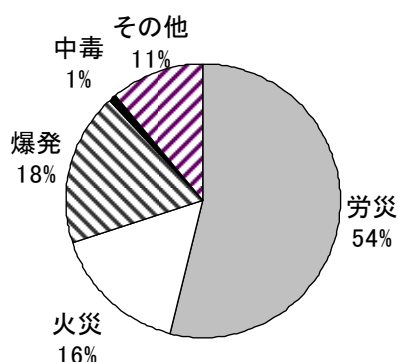


図4 事故発生割合(1996-1999)

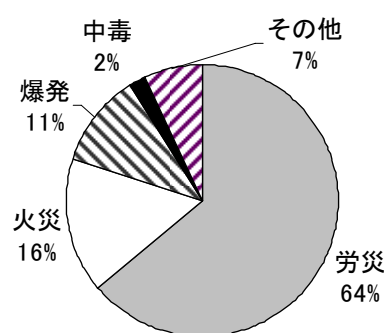


図5 事故発生割合(2000-2003)

ては減少の兆しが現れず、負傷者数は漸増傾向にあった。割合としては、近年になるにつれて、労災、中毒事故が増加し、火災、爆発事故が減少し、事故形態ごとに異なる変化を示した。

2) 火災事故における起因装置と起因物質の組み合わせ

火災事故における起因装置と起因物質の組み合わせの調査総合結果(1996-2003)を表2に示した。この結果より、「貯留設備」に「一般可燃ごみ」、「廃油など」、「ガスボンベ」、「その他ごみ」が混入した場合の事故が計59件で全体の約29%となり大きな割合を占めていることがわかった。また、これに加えて「コンベア」、「破碎機」に「ガスボンベ」が混入した場合の事故も計37件で全体の約18%となり大きな割合を占めていた。以上のことから廃棄物処理施設における火災事故は、引火性液体、および引火性気体等の処理不適物の混入が原因になっていることはもとより、一般的に廃棄物として扱われる物質も貯留設備に置いて堆積・貯留されることにより、蓄熱発火や自然発火、あるいは発酵ガスを発生し、それが着火するといったことによっても発生していることが示唆された。

3) 爆発事故における起因装置と起因物質の組み合わせ

爆発事故における起因装置と起因物質の組み合わせの調査総合結果(1996-2003)を表3に示した。この結果より、「コンベア」、「破碎機」に「ガスボンベ」が混入した場合の事故が計116件で全体の約55%となり大きな割合を占めていることがわかった。また爆発事故の場合、「コンベア」に分類された装置の多くが破碎物搬送コンベアであり、破碎機に関連する装置である。以上のことから、廃棄物処理施設における火災事故は、そのほとんどが破碎機、およびその周辺機器に「ガスボンベ」が混入することにより発生していることがわかった。つまり、破碎機のせん断、圧縮を廃棄物に加える前段での選別作業は特に注意して行わなければならない。

4) 中毒事故における起因装置と起因物質の組み合わせ

中毒事故における起因装置と起因物質の組み合わせの調査総合結果(1996-2003)を表4に示した。この結果より、「選別設備」に「農薬」が混入した場合の事故が5件で全体の約24%、「貯留槽」およびその付近で「化学処理薬剤」を使用した場合の事故が5件で全体の24%となり、この2つが比較的大きな割合

表2 火災事故における起因装置と起因物質の組み合わせ

装置	物質	事故件数	割合[%]
圧縮機	その他(ガスボンベ)	1	0
	不明	1	0
乾燥機	その他ごみ	1	0
	一廃可燃ごみ	4	2
コンベア	廃油、廃溶剤、揮発油	2	1
	その他(ガスボンベ)	15	7
	その他(粉じん)	3	1
	その他ごみ	1	0
	不明	7	3
	一廃可燃ごみ	1	0
集塵機	不明	1	0
	一廃可燃ごみ	2	1
焼却炉	その他ごみ	1	0
	不明	2	1
	一廃可燃ごみ	1	0
選別設備	廃油、廃溶剤、揮発油	1	0
	その他(ガスボンベ)	1	0
	不明	1	0
貯留設備	一廃可燃ごみ	9	4
	廃酸、廃アルカリ	1	0
	廃油、廃溶剤、揮発油	6	3
	その他(ガスボンベ)	1	0
	その他(ガスボンベ)	7	3
	その他(発火物)	1	0
	その他ごみ	37	18
	不明	34	17
	一廃可燃ごみ	6	3
	廃金属粉、金属化合物	2	1
投入設備(ホッパ、フィーダ)	廃プラスチック	2	1
	廃油、廃溶剤、揮発油	1	0
	その他(ガスボンベ)	2	1
	その他ごみ	1	0
	不明	1	0
	一廃可燃ごみ	3	1
破碎機	一廃可燃ごみ	3	1
	廃金属粉、金属化合物	2	1
	廃油、廃溶剤、揮発油	1	0
	廃プラスチック	2	1
	その他(ガスボンベ)	22	11
	不明	8	4
	その他(ストーカ駆動装置)	1	0
その他(低圧電動機器)	一廃可燃ごみ	1	0
その他(ニクロム線カット場)	一廃可燃ごみ	1	0
その他(油圧シリンダー)	その他(油圧シリンダー内容物)	2	1
不明	不明	1	0

表3 爆発事故における起因装置と起因物質の組み合わせ

装置	物質	事故件数	割合[%]
コンベア	廃金属粉、金属化合物	2	1
	廃酸、廃アルカリ	1	0
	廃油、廃溶剤、揮発油	1	0
	その他(ガスボンベ)	16	8
	その他(可燃性ガス)	1	0
	不明	6	3
集塵機	焼却灰	1	0
	一廃可燃ごみ	1	0
焼却炉	焼却灰	1	0
	その他(ガスボンベ)	4	2
	その他(負圧)	1	0
	その他ごみ	1	0
	不明	1	0
貯留設備	一廃可燃ごみ	1	0
	その他(ライター)	2	1
投入設備(ホッパ、フィーダ)	不明	1	0
排水処理設備	汚泥	2	1
灰溶融炉	その他(水蒸気爆発)	1	0
	不明	2	1
破碎機	廃金属粉、金属化合物	2	1
	廃油、廃溶剤、揮発油	12	6
	その他(ガスボンベ)	100	47
	その他(バイク)	1	0
	その他(爆発物)	1	0
	その他(粉じん)	1	0
	その他ごみ	2	1
	不明	41	19
その他(補助ボイラ室内)	不明(可燃性ガス)	1	0
不明	その他(ガスボンベ)	4	2

を占めていた。以上のことから、廃棄物処理施設における中毒事故は、そのほとんどが「農薬」等の持ち込まれた有毒物や、「化学処理薬剤」等に作業員が直接ふれる作業中に発生しており、これら有毒物を扱う作業中にはその扱いに十分注意しなければならない。

5) まとめ一事故事例解析結果からの知見と安全管理への応用

事故事例解析結果より、事故の形態別に固有の原因が存在することが明らかとなった。これらの知見を参考的に確かな安全化対策を提案し、効率的な事故対策を講じることが可能となる。高度な安全管理手法が確立され、化学プラントにおけるリスク低減を達成している化学産業においては、過去の事故事例から学ぶこと、つまりは「失敗知識の活用」が安全管理を行う際のベースとなっている。また「失敗知識の活用」とは「事故解析結果の活用」ということになるが、これにより現在問題となっている団塊の世代の大量退職に伴う「安全化知識」の喪失すらも補える可能性がある。

これら化学産業において現在行われている安全化への取り組みは、もちろん廃棄物処理施設においても有効な安全管理手法であると考えられる。そのため、本研究で実施した事故事例解析は、廃棄物処理施設安全化の第一歩として大変重要であり、安全化のベースを構築することを目的に今後も継続して行われていくことが望ましい。また、事故事例解析を行い、安全管理を行うために必要十分な情報を得るためには、事故事例を収集するシステムを構築することが必要となる。

表 4 中毒事故における起因装置と起因物質の組み合わせ

装置	物質	事故件数	割合[%]
選別設備	その他(農薬)	5	24
脱水設備	化学処理薬剤	1	5
中和設備	廃酸、廃アルカリ	1	5
貯留設備	化学処理薬剤	1	5
	廃酸、廃アルカリ	1	5
	その他(農薬)	1	5
貯留槽	化学処理薬剤	5	24
	廃酸、廃アルカリ	1	5
投入設備(ホッパ、フィーダ)	その他(一酸化炭素)	1	5
排ガス処理設備	化学処理薬剤	2	10
	その他(洗煙装置循環水)	1	5
破砕機	その他(農薬)	1	5

(2) 事故事例解析—RDF の火災危険性に関する検討を例に—

RDF の火災危険性に関して、表 1 に従って様々な熱・化学分析機器を用いて RDF の発熱・発火機構について検討した。

1) 発火温度測定

発火温度の測定の結果を表 5 に示した。RDF サンプルは由来の異なる 3 種を用いたが、各試料とも 130℃付近から発熱を開始し、180℃付近で発火に至っていた。

2) 断熱下での発熱挙動の測定

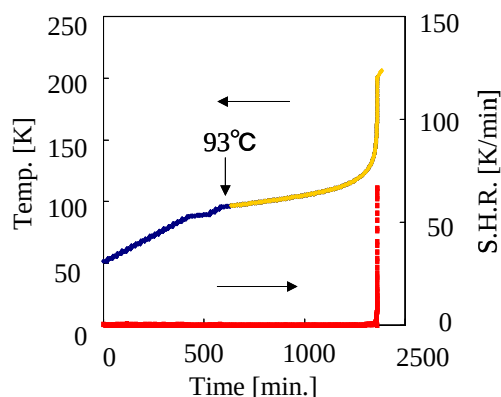
酸化反応の起こりやすい酸素加圧状態で、試料量約 1g で測定を行った結果を図 6 に示した。図より、約 90℃から発熱開始しており、また、図示していないが試料量約 3g では約 80℃から発熱開始する結果となった。試料量や昇温速度、検出感度等の影響により、先に行った発火温度測定結果よりも低い温度から発熱する結果となった。試料量の影響が少なくないが、発熱開始してからは自己の発熱量により発火に至るため、今回の測定条件下では自己発熱から熱暴走を引き起こす温度は約 80℃であることが判った。

3) 自然発火性の検討

測定は予め窒素ガスを試料室に流入させておき、試料を装置内に入れて測定を開始した。測定開始から 120min 後に断熱制御を作動し、同じく 180min

表 5 発火温度の測定結果(O₂:1.0MPa)

試料No.	試料量 (mg)	昇温速度 (°C/min)	発火温度 (°C)	発熱開始温度 (°C)
S-01	20	5	178	112
S-01	15	10	178	127
S-01	19	10	162	131
S-01	12	20	181	153
I-01	20	20	182	129
U-01	20	20	189	126



ARC Measurement on Heat-Wait-Search mode
RDF 1g + H₂O 0.2g, 9ml bomb (Ti), Atmosphere, O₂1MPa

図 6 断熱下での発熱挙動(ARC)

後に窒素ガスから空気に切り替えた。断熱誘導時間は空気送給後、試料温度が 2.5℃上昇するまでの時間とした。図 7 に自然発火試験結果を示した。図より初期設定温度が高いほど発熱に至る断熱誘導時間は短くなった。初期設定温度 130-180℃において 10℃きざみで測定したところ、再現性よく発火し、最低 130℃に保持された RDF が発熱および発火することが明らかになった。

4) 水分添加の発熱に対する影響

製造所の異なる 2 種類 (I-01、U-01) の RDF と、それぞれ真空乾燥したもの (I-02、U-02)、合計 4 点の RDF について C80 を用いて測定を行った。

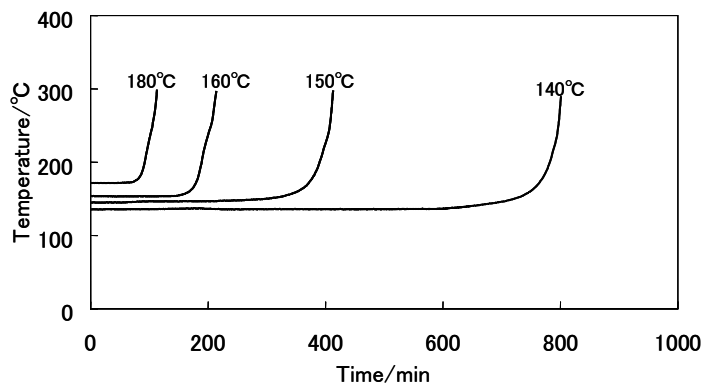


図 7 自然発火試験結果(SIT-2)

C80 の混合容器下部に RDF を、メンブレンフィルタを介した上部には RDF の 20wt%の水を入れ、30℃に等温保持した。安定後、容器の攪拌棒によりフィルタを破ることで RDF に水を滴下し、その際の混合熱を測定した。それぞれの測定結果を表 6 に示した。製造所の違いにより発熱量の差が若干見られる程度であり概ね同傾向であった。また、一度測定した U-02 を再度乾燥させ 2 回目の測定を行ったところ (表 6 中の U-02')、RDF 重量当たりの発熱量は 18.3 (J/g) であり、1 回目の測定結果と同程度であり、可逆的な発熱であることが判った。

真空乾燥前後の重量から RDF (I-01、U-01) はそれぞれ I-01 が 3.2%、U-01 が 3.5%の水分を含んでいた。初期水分量が約 3%の RDF に水を添加したときの発熱量は、乾燥品での発熱量の約 1/3 程度であった。また、滴下水量を 3 倍の 60wt%に増やして測定したところ、RDF 重量当たりの発熱量は 15.8 (J/g) であり、今回の測定では、水量の増加による発熱量の影響は見られなかった。これらの結果より RDF の水分による発熱は最大 20J/g であり、断熱下では最大 10℃程度の温度上昇が生じることが示唆された。

表 6 RDF 湿潤熱測定結果(C80)

No.	試料量 (mg)	RDF量 (mg)	水量 (mg)	水(%)	RDF重量当たり の発熱量 (J/g)	総発熱量 (J)
I-01	603.11	501.07	102.04	20%	7.4	3.68
I-02	601.93	501.00	100.93	20%	19.1	9.57
U-01	602.68	501.30	101.38	20%	4.2	2.12
U-02	611.00	508.95	102.05	20%	15.6	7.95
U-02'	606.51	505.70	100.81	20%	18.3	9.23
U-02	814.01	505.97	308.04	61%	15.8	7.98

5) 等温保持環境下における発熱測定

ARC を用いて等温に保持した RDF の発熱挙動を測定した。雰囲気は、酸素または窒素置換雰囲気、酸素加圧雰囲気、保持温度は 40℃または 60℃である。

図 8 に 40℃、および 60℃等温測定の結果を示した。図 8(a)から、60℃の場合、水分を添加しない場合は顕著な発熱が見られなかったが、水分を添加した RDF では 10℃以上の温度上昇がみられた。また、酸素量の影響を図 8(b)で比較した。60℃に保持し窒素置換した条件では目立った温度上昇は見られず、雰囲気の酸素量が増加するに従って、発熱速度や到達温度が高くなった。また、保持温度を 40℃と 60℃で比較すると、設定温度 40℃の場合は設定温度 60℃の場合と比較すると発熱速度は更に緩やかではあったが、微少な発熱反応が継続的に進行していることが判った。

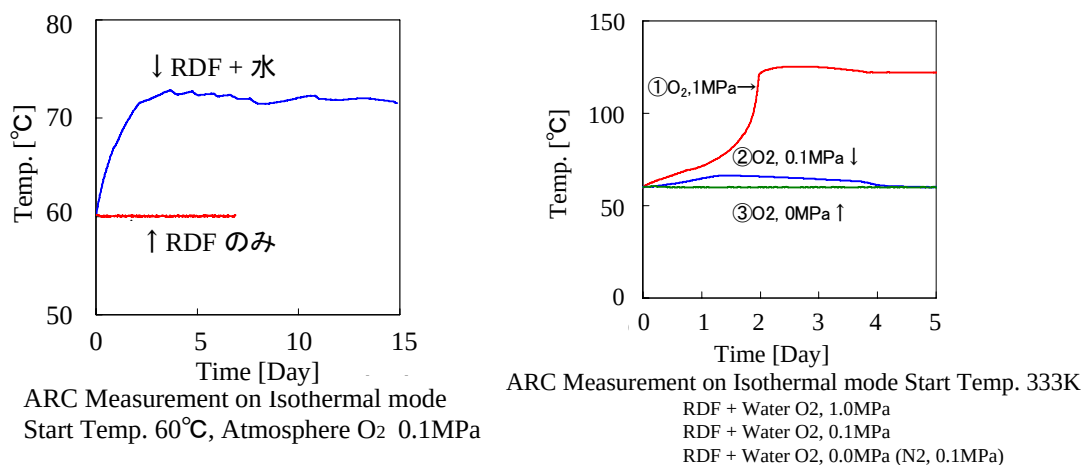


図8 等温保持、断熱下での発熱挙動(ARC)

(左(a)、右(b))

6) 化学発光による有機物酸化の測定

RDFの低温における酸化反応の評価・検討することを目的とし、RDFの発光強度測定をおこなった(図9)。窒素雰囲気下の測定では温度上昇にともない発光強度の増加が見られ、最大値を示したのち減衰していく傾向がみられた。このことからRDF中にはすでに発光成分が含有されていることが示唆される。これはRDF製造中に加えられる熱履歴によって過酸化化物等が生成・蓄積され、これらが熱分解する際の化学発光であると考えられる。同様に酸素雰囲気下における発光強度測定を行った。酸素雰囲気での発光強度の特徴は、窒素雰囲気での発光強度より大きいこと、最大値に到達後の発光強度の減衰がゆるやかであることがあげられる。また、温度との関係では、発光強度は60-70°C付近から増加する傾向が見られた。以上より、60-70°C付近を起点としてRDF中の何らかの発光成分が自動酸化反応によって生成されていると考えられる。酸素雰囲気における発光種を同定するために80°Cにおける発光スペクトルを測定した。その結果(図10)、励起カルボニル(420-450, 530nm)および一重項酸素(480,520,580nm)に由来する発光スペクトルが観察された。これより、RDFは低温で自動酸化反応が進行することが示唆された。

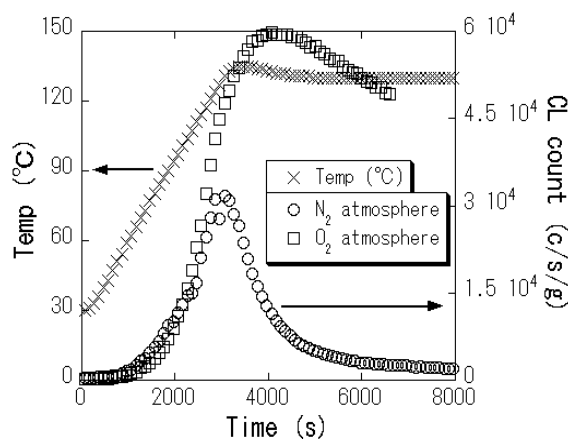


図9 窒素雰囲気下での化学発光強度
試料量 : 0.2g
雰囲気 : 窒素 100ml/min
測定温度 : 30°C—130°C (2K/min)

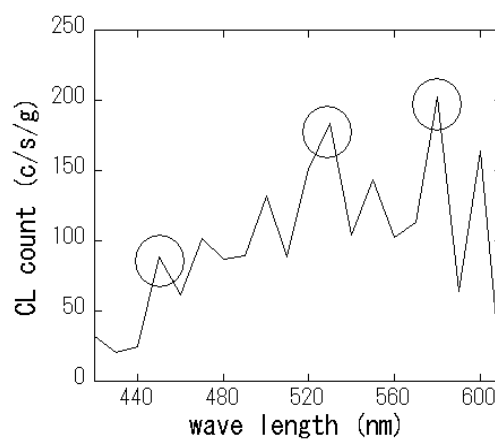


図10 80°Cにおける発光スペクトル

7) まとめ

RDFの火災危険性の検討を行った結果を以下に述べる。

- ・ 複数の製造所で製造されたRDFに関して発火温度を測定したところ、製造所間や固体間によって多少の違いがあるものの概ね180°C前後であった。
- ・ ARCを用いた断熱下での測定により、何らかの発熱・蓄熱により試料温度が80°C付近まで上昇す

ば、酸化分解による自己発熱で熱暴走を引き起こす危険性があることが判った。また、SIT-2 を用いた自然発火性試験では 130℃に保持された RDF が発熱及び発火することが確認された。

- ・ 初期発熱要因を検討する目的で RDF と水分の混合熱を C80 を用いて測定した結果、最大で 20J/g の発熱があり、熱量全てが蓄熱に寄与した場合には 10 数℃程度の温度上昇が起こることが示唆された。また、酸素と水分が供給された RDF は 40～70℃付近で酸素を消費する発熱反応が進行することが確認出来た。
- ・ RDF の化学発光強度測定を行うことにより、RDF 中には製造過程で生成されたとと思われる有機過酸化物が存在し、これを開始剤とした自動酸化反応が 130℃以下で進行していることが示唆された。
- ・ 以上の検討により RDF は 80～130℃程度で自己発熱により発火に至ることが示唆され、80℃までは、水分の影響や有機分の酸化に伴って温度上昇する可能性が示された。

(3) 安全管理システムの構築

本研究における安全管理情報システムは事故事例データベース、危険物性データベース、危険性評価手法データベースの 3 つからなり、以下に構築したデータベースについて述べる。

1) 事故事例データベース

事故事例 DB の入力フォーマットを表 7 に示した。これらは、事故事例解析結果や、文献調査、関連機関へのヒアリング調査結果に基づき決定した。表中において“コード化”の欄に◎が記された項目に関しては、将来データベース内に大量の情報が格納された際にも、容易に検索や統計的な処理を可能とするためコード化を実施した。例えば廃棄物の種類は、一般廃棄物、産業廃棄物、特別管理廃棄物、し尿、汚泥などのコードに分類し、これらを選択することで廃棄物の種類に対応する事故を検索することができる。なお、現段階でコード化された項目に当てはまらない項目に関しても、テキスト入力により検索が可能になるよう設定した。

また、事故事例 DB は、ユーザー側からも同様のフォーマットで入力できる仕様として、常に新しい事故情報が入手、蓄積できる発展型 DB とした。ユーザー側から入力された事故情報は、一旦管理者（専門家）によって精査され、認証された事例は一般に公開されることになる。将来的にこのシステムが十分に機能する社会的環境が整えば、事故発生後すぐに事故の情報を関連産業で水平展開することが可能となり、その対策を即座に行うことにより同様の事故の再発防止が効率的に実施できると想定される。

現段階では、本研究で文献調査、ならびにヒアリング調査を行った 15 件の事故情報をフォーマットに従って入力しているが、これらの入力フォーマットに加えて、事故進展フローや実証実験結果、発生施設の概要図を、各事故に対応して掲載できるものとした。

図 11 に事故 DB の検索・出力イメージを示した。図は、検索条件として“廃棄物の種類”コードで一般廃棄物を選択し検索、三重ごみ固形燃料発電所爆発事故を選択したケースである。また右上はユーザーが任意の事故を登録できる事故事例の登録画面である。

表 7 入力フォーマット(事故 DB)

事例番号	コード化
タイトル	
廃棄物の種類	◎
事故事象	◎
起因事象	◎
進展事象	
起因事象発生時の運転・作業状況	◎
事故に関連した施設・機器・エリア	◎
取扱量(貯蔵以外)(t/day)	
直接、委託の別	
発生年月日(曜日)	
発生時刻	
気象条件	
発生場所	
二次的に派生した発災物質	
当初から存在して事故の引き金となった物質	◎
事故での物質危険要因	
事故の発生要因(直接、間接要因)	◎
想定重大事故	◎
応急措置(事故時)	
再発防止対策	
教訓	
被害状況(人的)	
被害状況(物的)	
被害状況(環境汚染)	
被害状況(市民避難等)	
(廃棄物・安全)専門家からのコメント	
図・写真等の添付	
事故進展フロー	
設備概要等	



図 11 事故事例データベース（検索、出力、登録イメージ）

2) 危険物性データベース

廃棄物処理は、あらゆる産業から生み出された製品を最終的に処分するプロセスであるため処理対象物が多様である。またそれらの廃棄物を処理するために様々な装置が用いられている。そのため、廃棄物処理を安全に遂行するためには、多様な処理対象物特有のハザードや処理過程に潜在する危険性を十分に把握しておく必要がある。そこで、本研究ではそれらのハザード情報を提供するために危険物性 DB を構築し、安全管理情報システムに組み込んだ。

危険物性 DB は、①物質：処理対象物質、処理時利用物質、および処理時生成・発生物の危険特性、およびその取り扱いに関する基本情報と、②取り扱い設備・装置の危険特性情報を格納したデータベースである。それぞれ物質、設備に

おける危険特性を表 8、表 9 に示した。これらの危険特性は事故事例解析結果や、その他関連機関の報告書を参考に決定したものである。

危険物性 DB の検索イメージを、結果出力イメージとあわせて、物質の場合を例として図 12 に示した。検索は前述したように物質および装置で検索することが可能であり、ユーザーは必要な情報を画面上から選択することで検索し、物質および装置の危険特性を閲覧することができる。また、物質の取り扱いに関する基本情報（純物質に関しては MSDS）も添付され、必要に応じて閲覧可能である。この危険物性 DB の活用により、事前に処理対象物質および取り扱

表 8 物質の危険特性

危険性大分類	発現事象	危険特性（物質）
エネルギー危険性	火災	蓄熱火災・自然発火性
		ガスの着火危険性
		液体の着火危険性
		固体の着火危険性
		混合発火危険性
	爆発	ガスの爆発危険性 分解爆発危険性 混合爆発危険性
環境影響危険性	中毒	急性毒性・腐食性
		有毒物生成危険性（加熱）
		有毒物生成危険性（混合）
		有毒物生成危険性（発酵）
	汚染	環境汚染性 有害物生成危険性（火災） 有害物生成危険性（混合）

表 9 設備・装置の危険特性

危険性大分類	発現事象	危険特性（装置）
エネルギー危険性	火災	火災（可燃性ガス生成）
		火災（危険物混入）
		火災（摩擦発熱）
		火災（火種混入）
		火災（火花）
		火災（過熱）
		火災（高温物の漏洩）
		火災（逆火）
		混合発火
	蓄熱火災	蓄熱火災
環境影響危険性	爆発	爆発（可燃性ガス生成）
		爆発（危険物混入）
		水蒸気爆発
		粉塵爆発
		混合爆発
		混合爆発
	中毒	中毒（有毒物生成）
		中毒（有毒物漏洩）
	汚染	中毒（危険物混入）
		汚染（有害物生成） 汚染（有害物漏洩）

い工程に潜在する危険性の情報を十分に確認することができる。これにより、事故の主要因となりうる誤動作、不作為、設計ミス、操作条件の設定ミス等の防止が図られ、事故を未然に防ぐことが可能になると考えられる。



図 12 危険物性データベース（検索、出力イメージ：物質→処理時薬剤→化学処理薬剤→塩酸の例）

3）危険性評価手法データベース

昨今、産業における安全管理は、法令遵守から自主管理へと変化してきている。これは急速な科学技術の進歩に法令の改定が必ずしも間に合わず、法規制のみでは安全管理を必要十分に行うことが困難になってきたからである。そのため、現在、企業自らがその安全管理基準を策定し、安全化を図ることが求められている。廃棄物処理施設においても、安全を自主管理するためには、自社において処理対象物質の危険性評価することが必要となるため、その評価技術を提供するデータベースの開発が求められている。そこで、主に化学安全の分野で用いられている専門的な危険性評価装置を危険性評価手法データベースに組み込んだ。このデータベースの活用により、ユーザーの施設で取り扱っている物質の潜在危険性を調査し、その危険性について知識を得ることが可能になると考えられる。

危険性評価手法データベースには使用装置とその評価項目、および測定項目を記載した。このデータベースに格納した評価装置の情報を表 10 に示した。

表 10 危険性評価装置の一覧

使用装置	装置名	評価項目	測定項目
加速速度熱量計	ARC	蓄熱危険性 分解危険性	発熱開始温度 断熱到達温度 発熱量 圧力上昇速度 最大到達圧力
熱流束型熱量計	C80	蓄熱危険性 混合危険性 分解危険性 誘導時間 ガス発生危険性	発熱量 発熱速度 誘導時間 発生圧力
自然発火試験装置	SIT	蓄熱危険性 自然発火危険性	誘導時間 発熱開始温度
熱重量／示差熱分析装置	TG-DTA	自然発火危険性 反応熱による危険性評価	発熱量 誘導時間 発熱開始温度 質量変化
引火点試験装置	引火点試験装置	引火危険性	引火点
小型反応熱量計	Super CRC	混合危険性	混合熱 発生圧力
示差走査熱量計	DSC	反応熱による危険性評価	発熱開始温度 発熱速度 発熱量
高感度等温熱量計	TAM	反応熱による危険性評価	誘導時間 発熱量
圧力容器試験装置	圧力容器試験装置	分解危険性	発生圧力
反応熱量計	RC-1	反応熱による危険性評価	反応熱 反応速度
ガスクロマトグラフ -熱伝導度分析装置	GC-TCD	危険性物質の定性・定量	H ₂ , CO, CH ₄ などの 無機ガス
ガスクロマトグラフ -水素炎イオン化分析装置	GC-FID	危険性物質の定性・定量	シロキサン, VOC, 炭化水素類
ガスクロマトグラフ -酸水素炎分析装置	GC-FPD	危険性物質の定性・定量	硫化水素, メルカプタン, 悪臭物質
ガスクロマトグラフ -電子捕獲型分析装置	GC-ECD	危険性物質の定性・定量	ダイオキシン類, クロロベンゼン, PCBs, トリクロロエチレン, 有機ハロゲン化合物
ガスクロマトグラフ -質量分析装置	GC-MS	危険性物質の定性・定量	シロキサン, ダイオキシン類, クロロベンゼン, PCBs, トリクロロエチレン, 有機ハロゲン化合物, VOC
原子吸光度計	AAS	危険性物質の定性・定量	Na, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Ni, Co, Al, V, Cr, As, Sb, Se, Hg
誘導結合プラズマ 発光分析装置	ICP-AES	危険性物質の定性・定量	Na, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Ni, Co, Al, V, Cr, As, Sb, Se, Sn, Mo
誘導結合プラズマ 質量分析装置	ICP-MS	危険性物質の定性・定量	Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Cr, As, Se
イオンクロマトグラフ	IC	危険性物質の定性・定量	塩化物イオン, 臭化物イオン, 硫酸イオン, アンモニウムイオン, 硝酸イオン

次に、危険性評価手法データベースの検索・出力イメージを図 13 に示した。ユーザーは、必要な情報を評価項目、あるいは評価装置から選択し、危険性評価手法情報を閲覧することができる。また、実験結果例や測定装置概略図も添付でき、必要に応じて閲覧が可能とした。



図 13 危険性評価手法データベース

(検索、出力イメージ：評価項目→自然発火危険性評価→熱重量・示唆熱分析装置の例)

結論=事件事例解析、事故の実証的な検討を実施するとともに、これまでの結果、文献調査、ヒアリングの結果を体系化し、運転管理のみならず、行政の指導、安全教育、安全な設備設計も含めて、廃棄物処理に関わる管理者、作業者が、各々の作業に応じて安全管理に必要な情報が得られるインターフェースを、安全管理情報システムとして構築し、インターネットを介して WEB 上に公開した。以下に本年度の研究で得られた知見、および成果、今後の課題について述べる。

(1) 事件事例解析

事件事例解析は、日本廃棄物処理施設技術管理者協議会が調査した廃棄物処理事業にともなう事故報告書を参考に行った。事故の起因となる物質と装置の組み合わせを抽出し、①火災事故では貯留設備内への危険物混入による引火や貯留環境が不適切であるための蓄熱発火、②爆発事故では、破碎機への家庭用ガスボンベの混入、③中毒事故では有毒物質取り扱いに対する対策不足が主原因であることが明らかとなった。

(2) 事件事例の実証試験

生ごみ堆肥化装置爆発事故、消化ガスエンジン爆発事故、廃油タンク爆発事故、およびごみ固化燃料(RDF)の火災危険性に関する検討について、これらの事件事例に基づいた基礎実験による事故メカニズムの把握を行った。

特に RDF の火災危険性の検討を行った結果を以下に述べる。

1) 複数の製造所で製造された RDF に関して発火温度を測定したところ、製造所間や固体間によって多少の違いがあるものの概ね 180℃前後であった。

2) ARC を用いた断熱下での測定により、何らかの発熱・蓄熱により試料温度が 80℃付近まで上昇すれば、酸化分解による自己発熱で熱暴走を引き起こす危険性があることが判った。また、SIT-2 を用いた自然発火性試験では 130℃に保持された RDF が発熱及び発火することが確認された。

3) 初期発熱要因を検討する目的で RDF と水分の混合熱を C80 を用いて測定した結果、最大で 20J/g の発熱があり、熱量全てが蓄熱に寄与した場合には 10 数℃程度の温度上昇が起こることが示された。また、

酸素と水分が供給された RDF は 40～70℃付近で酸素を消費するゆっくりとした発熱反応が進行することが確認された。

4) RDF の化学発光強度測定を行うことにより、RDF 中には製造過程で生成されたとされる有機過酸化物が存在し、これを開始剤とした自動酸化反応が 130℃以下で進行していることが示唆された。

5) 以上の検討により RDF は 80～130℃程度で自己発熱により発火に至ることが示唆され、80℃までは、初期発熱要因として水分の影響や有機分の酸化に伴って温度上昇する可能性が示された。

(3) 安全管理システムの構築

本研究における調査、事故解析、実証試験結果より、事故事例データベース、危険物性データベース、危険性評価手法データベースの3つにより、安全管理情報システムのプロトタイプを構成した。

1) 事故事例データベースは、事故情報入力シート、事故進展フロー、発生火災概要図、実証試験結果より構成し、特に事故情報入力シートに関しては、主要項目である機器設備、原因物質、事故の発生要因を施設で取り扱っている廃棄物や工程の特殊性により分類し、コード化した。さらに、ユーザー側からの事故情報をこの事故事例データベースに提供できる機能を構築し、リアルタイムに新しい事故事例が入手可能となるようにした。今後の課題としては、事故事例データベースの充実が第一である。提供開始した当初は、廃棄物処理事業者からは、事故情報の公表による自治体、企業イメージの低下などを懸念して事故情報が提供される可能性が低いことが予測されるが、将来的に、事故事例情報の提供をきっかけに事故情報を容易に公表できるような社会的環境が整備されれば、廃棄物事業全体の安全レベルの向上が図られることが期待できる。

2) 危険物性データベースは、廃棄物処理施設で取り扱う物質、装置の取り扱いに関する基本情報、および火災・爆発・中毒などの危険特性を記載した。危険物性の閲覧によって、事前にプロセスに潜在する危険性を把握し、未然に事故の防止を図ることを可能にすることができる。今後の課題としては取り扱われる物質や処理装置に対しては今後も多様化の一途をたどることが予想されるため、必要に応じてデータベースに追加する必要があると考えられる。

3) 危険性評価手法データベースは対象物質の火災・爆発・中毒危険性を評価する手法、およびその評価装置を記載した。本データベースの閲覧によって、ユーザーの施設で取り扱っている物質の潜在危険性を自社で調査し、その危険性について知識を得ることができる。ただし、現在記載されている危険性評価手法をユーザー側で習得するには高度な工学的知識と、高価な評価装置を必要とする。したがって、今後の課題としては、データベースに評価委託先や委託方法の詳細を追記し、必要な評価項目の実証実験については外部委託を可能にするような取り組みを進める必要がある。

最後に、本研究で最終的に開発された安全管理情報システムは、社会のニーズに敏感に反応してデータベース内の情報を改善し、常に有用な情報を提供し続けることが必要になると考えられる。またこのように、安全管理情報システムを充実させていくためには、処理現場の現状を十分に把握する必要があり、その情報を入手するためには廃棄物処理施設の関連機関からの状況提供が不可欠になると考えられる。そのためまずは、事故情報等の失敗情報を隠さず公表できるような社会システムを構築し、廃棄物処理産業全体で、安全レベルの向上を目指すことが可能になるような体制作りを産官学が協力して行っていく必要がある。

参考文献

- 1) 日本廃棄物処理施設技術管理者協議会：廃棄物処理事業に伴う事故事例調査結果報告書（平成 12～15 年度分）（2005）
- 2) 日本廃棄物処理施設技術管理者協議会：廃棄物処理事業に伴う事故事例調査結果報告書（平成 8～11 年度分）（2001）
- 3) 大阪市都市環境局、㈱東京設計事務所：中浜下水処理場消化ガスエンジン調査業務委託報告書（2005）
- 4) 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最終報告書（2003）

英語概要

研究課題名＝

「Safety Management System of Solid Waste Treatment Facilities Based on the Study of the Fire and Explosion Hazards」

研究代表者名及び所属＝Nobuo TAKEDA (Kyoto University)

共同研究者：Kazuyuki OSHITA (Kyoto University),

Masahide WAKAKURA (Kanagawa Industrial Technology Center),

Atsumi MIYAKE (Yokohama National University)

要旨（200 語以内）＝

In Japan, dangerous and frequent accidents of explosion, fire, and poisoning have been reported at solid waste treatment facilities. It is necessary for the prevention of these accidents not only to study and analyze the accidental mechanism based on the experiment but also to build the information system to provide information on process safety management.

Therefore, we built up the information system that contains database on accident cases, hazard of process and material related to the waste treatment and risk evaluation method from based on the knowledge of environmental chemistry, waste treatment engineering and safety engineering.

We firstly collected the information on the accidents from 1996 to 2003 in Japan and extracted and characterized a hazard scenario as the combination of substance and the process (heating, pressurization, crush mixture etc.).

Then we conducted the experimental study about representative accident of waste treatment facilities. For example, RDF self-heating test at low temperature was carried out using various thermo-chemical analyzers.

Finally, we organized the accidents information and the experimental result about some accident. Then we built up the information system that contains database on accident cases, hazard of process and material related to the waste treatment and risk evaluation method. This information system was set up a web site on the Internet, which all people related with waste treatment can use for safety education, administrative guidance and safety design of waste treatment facilities etc.

・キーワード（5 語以内）＝Safety Management System, Fire and Explosion Hazards, Solid Waste Treatment Facilities, Database