消防研究所研究資料第58号

動物性飼料の自然発火に関する研究報告書

基盤研究部　物質安全研究グループ　桃田　道彦
基盤研究部　物質安全研究グループ主任研究官　岩田　雄策
基盤研究部　物質安全研究グループ長　古積　博

平 成 15 年 3 月

独立行政法人　消防研究所

動物性飼料の自然発火に関する研究報告書

目　次

ページ

第１章 研究目的 …… 1
1.1　研究の背景 …… 1
1.2　研究目的 …… 1

第2章　実験 …… 2
2.1　実験概要 …… 2
2.2　試料（肉骨粉について） …… 3

第3章　実験方法および結果 …… 4
3.1　TG－DTA（示差熱天秤） …… 4
3.1.1　目的 …… 4
3.1.2　試料 …… 4
3.1.3　装置 …… 4
3.1.4　手順および条件 …… 4
3.1.5　結果と考察 …… 5
3.2　ASTM式発火点試験 …… 6
3.2.1　目的 …… 6
3.2.2　試料 …… 6
3.2.3　装置 …… 6
3.2.4　手順 …… 7
3.2.5　結果 …… 7
3.3　自然発火試験（SIT） …… 8
3.3.1　目的 …… 8
3.3.2　試料 …… 9
3.3.3　装置 …… 9
3.3.4　手順 …… 9
3.3.5　結果と考察 …… 10

3.4　自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）…… 12
3.4.1　実験目的 …… 12
3.4.2　試料 …… 13
3.4.3　試験装置 …… 13
3.4.4　実験手順 …… 13
3.4.5　実験結果と考察 …… 14
3.5　小ガス炎着火試験 …… 15
3.5.1　目的 …… 15
3.5.2　試料および試料の調整 …… 15
3.5.3　装置および試験器具 …… 15
3.5.4　試験場所 …… 16
3.5.5　試験温度および湿度 …… 16
3.5.6　試験方法および手順 …… 16
3.5.7　試験結果と考察 …… 17
3.6　燃焼熱測定（ボンベ型熱量計）…… 18
3.6.1　目的 …… 18
3.6.2　試料 …… 18
3.6.3　装置 …… 18
3.6.4　手順 …… 19
3.6.5　結果と考察 …… 20

第4章　まとめ …… 21

参考文献 …… 26

図表 …… 27

資料 …… 67

第1章 研究目的

1.1 研究の背景

2001年9月、国内でBSE（bovine spongiform encephalopathy, 牛海綿脳症、いわゆる狂牛病）問題が発生し、大きな社会問題となった。このBSE問題の最中、2002年3月農林水産省から肉骨粉（meat bone meal）の蓄積場での出火による危険性についての問い合わせがあった。本報告書は、この問い合わせを契機に、肉骨粉の酸化による自然発火の危険性について実験的に検討したものである。

一般に食肉用として利用した残りの牛や豚の内臓や皮、骨などの畜産残渣物は、化学精製工場に集められ、加熱処理し肉骨粉や油脂に加工される。このうち肉骨粉は家畜用の飼料や、農園業用の肥料として利用されていた。ところが、BSE問題発生以来、肉骨粉は感染源として疑われ、飼料として利用することができなくなり、焼却処分されることとなった。しかし、急に大量に生じた肉骨粉を迅速に焼却処理するには、現有の焼却炉の設備と処理能力では十分でないことが現状であった。このため行き場のなくなった肉骨粉は、焼却処分されるまで一時的に各地の倉庫に大量に保管されることになった。

一方、この畜産残渣を原料として加工された肉骨粉は、多くのタンパク質や脂肪を含んでいるため、酸化や発酵による熱が内部に蓄積され、発熱し火災を発生させる危険性をもっている。実際に2001年12月には鹿児島県で(資料参照)、2002年9月には栃木県で(資料参照)、肉骨粉の貯蔵所（倉庫）から発酵によると考えられる火災が発生している。このため肉骨粉を適切に保管、管理し出火を防止することが急務となった。特に2002年の夏の暑い季節を前にして安全に保管する方法を探る必要があり、農林水産省から問い合わせを受けることとなった。そこで、肉骨粉による火災発生の危険性の把握と、安全に貯蔵するための情報を総務省消防庁および農林水産省に提供する必要が生じ、本研究を行った。

1.2 研究目的

自然発火の原因となる現象には、発熱分解反応、空気酸化反応、水との反応、吸着熱、重合熱、発酵熱などがある[1)]。このうち、肉骨粉の自然発火の主な原因としては、空気による酸化と微生物による発酵が考えられる。酸化や発酵により発生した熱が試料の外部への放熱量より大きくなったとき、発生した熱が試料内部に蓄積され試料の温度が上がり、ついに発火点を超え火災が発生する（Semenovの理論[2)]）。本研究では肉骨粉の発火原因の一つであると考えられる酸化による発熱に注目した。この観点から発火の危険性を評価する実験を行い、肉骨粉を安全に蓄積するための保管条件や、

製造条件を検討する基礎資料を得ることを目的とした。

第2章　実験

2.1　実験概要

肉骨粉の酸化による発火の危険性を評価するために、以下の実験を行った。

1)　TG－DTA
2)　ASTM 式発火点試験
3)　自然発火試験（SIT）
4)　自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）
5)　小ガス炎着火試験
6)　燃焼熱測定（ボンブ型熱量計）

はじめに、TG－DTA を用いて製造工場の異なる二種類の肉骨粉の熱分解特性を測定し、両試料の熱的性質を調べた。この実験により、1)肉骨粉の熱特性、2)メーカーによる差異、3)自然発火試験（SIT）や自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）を行うための最適な実験温度条件などを把握した。

ASTM 式発火点試験では、燃焼の危険性を評価するために、試料が着火源なしで自ら燃え出す最低温度（発火点）を求め、火災の起こりやすさを評価した。

自然発火試験（SIT）では、約 820mg の少量の試料を用い、断熱状態（試料内で発生した熱が外部に流出しない状態）で温度を一定に保ったときの、試料の温度上昇を観測し、自然発火の起こる温度を簡便に推定した。また、危険性を比較評価するために、時々火災を起こす天ぷらの揚げかす（天かす）についても同様の測定を行い、肉骨粉と比べた。

自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）では、より現実的な自然発火の条件に近づけるために、自然発火試験（SIT）の約 750 倍に相当する 620g の試料量を用い、恒温槽の中央に吊り下げた籠の中に入れ、酸化により生じる試料の温度上昇を観測した。ここでは、試料が任意温度に保持された場合の酸化発熱特性を調べ、自然発火の起こる温度を知ることと、自己発熱性物質に該当するかどうかの判断を行った。

小ガス炎着火試験は、火炎による着火の危険性を調査し、着火のし易さと、肉骨粉が消防法第 2 類の危険物（可燃性固体）に該当するか否かの判断を行った。

燃焼の激しさを評価するために、ボンブ型熱量計を用い燃焼熱量を求めた。この値を既存の燃えやすいものと比較し、燃焼が発生した後の危険性を評価した。

2.2 試料（肉骨粉について）

肉骨粉の試料は、次の三種類のものを用いた。

農林水産省より提供された製造工場の異なる二種類のもの

製品 A：肉骨粉（鶏、豚、牛が混ざったもの）

製品 B：ミートボーンミール（鶏、豚、牛が混ざったもの）

当研究所で富士化学株式会社より入手したもの

製品 C：ミートボーンミール（約牛 50%、豚 40%、鶏 10%の混合物）

一般的な肉骨粉の製造法および保管法は次のとおりである。Figure 2.2.1 に肉骨粉の製造工程の一例を示す。まず、食肉用に加工した残りの内臓や皮、骨などの動物残渣を、各地に点在する食肉加工所から回収し原料ホッパーに集める。ここから工場での加工が始まる。始めに、磁石や金属などの異物を取り除き、細かく破砕する。次に温度 80℃～90℃の初期加熱部へ導き、ここで熱によりタンパクを変性させる。これを次のプレスで搾り油と搾りかすに分ける。この搾りかすを温度 130℃～135℃の釜で煮て油を含んだ液体成分と、固形分に分ける。この固形分を高温（約 130℃）のまま圧搾機にかけ油脂分を約 10%に落とす。残った固形物をグラインダーで粉砕し、荒い粉末状の肉骨粉にする。この段階で約 60℃まで冷やされる。さらにこれをスクリーンに通し 2.5mm 以下の粒度に整え製品としての肉骨粉が出来上がる。これをサイロで数日保管したり、トランスバッグ（化学繊維で編んだ袋、直径 1m、高さ 1m、または縦、横、高さ 1m）に詰めパレットを介して数段に積んで保管する。トランスバッグ一袋の肉骨粉の量は 700Kg から 1 トン程度である。保管場所は通常雨風の当たらない倉庫で、冷房設備はない。

一般的な肉骨粉の構成成分を Table 2.2.1 に示す。主な成分は、粗タンパク質 50.4%、粗脂肪 10.6%、粗灰分 30.7%、水分 5.7%である。

第３章　実験方法および結果

3.1　TG－DTA（示差熱天秤）

3.1.1　目的

まず始めにTG－DTAを用いて肉骨粉の熱的性質を調べた。

ここでは、以後の実験をより正確にスムーズに行うための情報を得ることを目的として、主に次の三点の情報を集めた。

1）肉骨粉の熱分解特性の把握。
2）製造工場の異なる肉骨粉の差異の確認。
3）自然発火試験（SIT）、自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）など試験を行うための最適な実験温度条件の把握。

3.1.2　試料

試料は、農林水産省より提供された製造工場の異なる二種類の製品A：肉骨粉（鶏、豚、牛が混ざったもの）と、製品B：ミートボーンミール（鶏、豚、牛が混ざったもの）を用いた。測定に際しては、前処理を行わずそのまま用いた。

3.1.3　装置

TG－DTAは、試料を加熱しながら、試料が熱変化を起こすときに生じる発熱や吸熱などの温度変化と、分解や酸化反応などによる質量の変化を同時に検出し、試料温度の関数として記録する装置である。この装置により何℃でどれ位の物理変化や、化学変化が起っているかを把握することができ、試料のおおよその熱的性質を知ることができる。ここでは、肉骨粉の脱水による吸熱と酸化や燃焼による発熱現象と、脱水や分解による重量変化を捉えた。

今回の測定には、理学電機（株）製TAS－100型TG－DTA同時測定装置を用いた。Figure 3.1.1に装置の原理図を示す。

3.1.4　手順および条件

TG－DTAの実験手順および実験条件を以下に示す。

1）入手した肉骨粉を無処理のまま約15mg秤量し、試料容器（直径5mm,高さ2.5mmの開放型容器）に詰め、試料が均一に再現性よく詰まるよう軽く数回タッピング

する。

2) 試料容器に詰めた試料を、TG－DTA 装置の試料ホルダー部の上に置く。DTA の基準物質にはα—アルミナを用いた。

3) 加熱用の電気炉を試料ホルダー部にセットする。

4) 試料部にガスフロー用の空気を 60ml/min.流す。

5) 電気炉の温度コントロールを、昇温速度 10℃/min.、測定終了温度 700℃にセットし、測定を開始する。

6) 得られたデータを測定目的に応じて解析する。

3.1.5 結果と考察

TG－DTA による肉骨粉の熱分解挙動を Figure 3.1.2 に示す。横軸は試料の温度を示し、縦軸は熱重量変化と DTA を示す。熱重量変化は、下方が減量、上方が増量を表す。DTA 曲線のピークは下向きが吸熱反応を、上向きが発熱反応を示す。製造工場の異なる製品 A と B は、試料の構成成分の含有率の差により減量率が数%異なるが、熱分解挙動は同じ温度で同じ傾向を示し、大筋では同じ熱分解挙動であることが分かった。

肉骨粉の熱分解は大きく三段階に分かれて起こっている。室温～180℃には、TG 曲線から約４～5%の脱水による減量が観測され、DTA 曲線から吸熱が観測される。同様に 180℃～390℃付近には有機成分の分解による減量と燃焼による発熱が観測され、また 390℃～620℃には炭化物の分解燃焼による減量と発熱が観測されている。650℃以上の減量の残りがカルシウムなどの灰分で製品 A は 24%、製品 B は 19%である。

DTA 曲線の発熱方向へのずれは 180℃～190℃付近から始まり両試料とも同じ傾向を示している。この結果は、試料と空気中の酸素の接触による酸化反応が、180℃～190℃ですでに発生することを示している。従ってこのあと実験する自然発火試験（SIT）や、自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）を行うにあたっては、やみくもに広い温度範囲を試験するのではなく、180℃～190℃以下の温度に集中することが効率のよいことを示している。さらに DTA 曲線をよく見ると、150℃以下の温度では脱水による吸熱反応があり、120℃～190℃付近の DTA 曲線は脱水による吸熱と酸化による発熱の相殺した結果になっており、実際の発熱開始温度は DTA 曲線で観測

される温度よりも更に低いことが予測される。これは温度を一定に保って行う自然発火試験（SIT）や、自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）では、水分が蒸発した後の酸化反応を観測するため、肉骨粉の発熱開始温度は DTA 曲線で観測される温度よりもさらに低く 150℃～180℃以下でも起ることを示唆している。

また、製品 A と製品 B では減量率が若干異なるが、基本的には同じ熱分解挙動を示し、工場間の差はない。従って、以後の肉骨粉の試験を各社の製品毎に行う必要はなく、代表的なひとつの肉骨粉を調べれば肉骨粉全体の挙動を把握できることが分かった。これにより、以後の実験は試料の量や、入手のし易さなど、実験の条件に合わせて代表的なもの用いた。

3.2　ASTM 式発火点試験

3.2.1　目的

発火点(着火温度)は、空気中で物質の温度を上げていったとき、着火源なしで物質が自ら燃え出す最低温度であり、火災の起こりやすさを判断するひとつの指標となる。ここでは肉骨粉の発火による危険性を評価するために、ASTM 式発火点試験装置 [3)]を用いて発火点測定を行った。

3.2.2　試料

試料は、製品 C:ミートボーンミール（約牛 50%、豚 40%、鶏 10%の混合物）を用いた。

3.2.3　装置

発火点測定には、日本油試験機工業(株)製の ASTM 式発火点測定装置（ASTM E659 を準拠）を用いた。Figure 3.2.1 に ASTM 式発火点測定装置の断面図を示す。断熱材で囲まれた加熱ヒーター部の中央に、試料を注入する直径約 10cm、内容積 500ml のパイレックス製丸底フラスコがある。フラスコの上面、および側面と底面にはフラスコの周囲温度をモニターするための熱電対が取り付けられ、また、フラスコの中央にはフラスコ内の温度をモニターするための熱電対が取り付けられている。さらにフラスコの周囲には、フラスコの温度を均一にするためと、光が反射しやすいようにアルミホイルが巻いてある。加熱ヒータによりフラスコの上部、中部、低部およびフラスコ内の温度が設定温度の±1℃以内になるよう調整し、試料を注入するための温度を整える。温度が±1℃以内になったら、フラスコ上部より試料を注入し、試料の発火状況を上部の視鏡を通して観察する。なお、明るくて確認しにくい場合は、部屋を暗

くしてから行う。

3.2.4　手順

1) 加熱炉を制御して、フラスコの上部、中部、低部およびフラスコ内の温度が設定温度の±1℃以内になるよう調整する。

2) フラスコ内の温度が設定温度になったら、肉骨粉 100mg を試験管に秤量し (Figure 3.2.2)、フラスコ上部より注入する (Figure 3.2.3)。注入と同時にストップウォッチで時間を測る。

3) 照明を消し、フラスコ上部に取り付けられた視鏡によって、フラスコ内部の発火状況を観察する。

4) ここで10分以内に発火が認められないときは、この量の試料はこの温度では発火しないものとする。

5) 発火しなかった場合は、フラスコ内の分解ガスを清浄な空気で追い出し、設定温度を 30℃高くして 2) から 4) の操作を繰り返す。

6) 発火が認められたならば、試料注入から火炎発生までの時間を測り、遅れ時間として記録する。さらに 3℃刻みで温度を下げ同一操作をくりかえし、発火が起こらなくなるまで続け、発火する最低温度を求める。

7) 次に試料量を 150mg にして、温度を 30℃あげて 6) の操作を繰り返す。もし 150mg の方が 100mg の試験に比べて最低発火温度が低くなったら、試料量を 200mg～250mg に増やして試験を繰り返し、最低発火温度を求める。

8) 反対に 150mg の方が 100mg の試験に比べて最低発火温度が高くなったら、試料量を 75mg～50mg に少なくして試験を繰り返し、最低発火温度を求める。

3.2.5　結果

Table 3.2.1 に肉骨粉の ASTM 式発火点測定装置により測定した各試料量の最低発火温度を示す。始めに試料量 100mg の場合の発火点測定を行った。このときの得ら

れた最低発火温度は、468℃であった。次に試料量を 150mg に増やしたときの発火点測定を行い、最低発火温度 471℃を得た。この温度は 100mg の場合より 3℃高い値を示した。従って次に試料量を減らし 75mg で発火点測定を行った。この結果の最低発火温度は 474℃であった。

以上の結果、肉骨粉の最低発火温度は 468℃であることが分かった。従って肉骨粉の発火点は 468℃となり、この温度よりも高温になると、着火源なしで自ら燃え出すことが分かった。

比較のために Table 3.2.2 にいろいろな物質の発火点を示す[4)]。この表から肉骨粉の発火点はゴムや木炭よりも高く、コルク、木材などと同程度であり、さらし木綿やナイロンよりも低いことが分かった。従って肉骨粉の発火点による発火危険性は、コルクや木材などに近いことが推測される。

なお、引火点は測定していないが、組成（Table2.2.1）から 300℃～400℃（またはそれ以上）と推定される。

3.3　自然発火試験（SIT）

3.3.1　目的

自然発火(spontaneous ignition)とは,物質が空気中で発火温度よりはるかに低い温度で自然に発熱し、その熱が長期間蓄積され、物質の温度が上昇し、ついに発火点に至り燃え出す現象をさす。この自然発火を起こす温度は、物質の酸化や発酵などの発熱原因や、保管量、保管物質の熱伝導率、充填密度、梱包の方法、空気の供給状態、保管場所の熱の放出方法などの保管状態によって異なる。ここでは自然発火試験装置（SIT, spontaneous ignition tester）を用いて空気による物質の酸化を発熱原因とした場合について調査した。この装置は、1g 以下の少試料を用いて、試料内で発生した熱が外部に流出しないよう断熱状態を保ちながら、一定の環境温度で長時間保持した時の試料の酸化による温度上昇を観測するもので、保持温度を色々変えて、自然発火を起こす温度を調べた。ここでの目的は、1g 以下の少ない試料を用いることにより、大きな火災や、大量の分解ガス、煙などの発生を防ぎながら、研究室の環境で簡便におおよその自然発火の状況を知ることにある。

また今回は、時によく火災事故を起こしている天ぷらの揚げかす(天かす)についても同様の測定を行い、肉骨粉の場合と比較し、肉骨粉の自然発火の危険性の程度を評価した。

3.3.2 試料

肉骨粉は、農林水産省より提供された製品Aの肉骨粉（鶏、豚、牛が混ざったもの）を前処理を加えず入手したままの状態で用いた。

天かすは、市販の大豆油を主成分とする天ぷら油と天ぷら粉を用い、通常の天ぷらを揚げる状態で作成した。

3.3.3 装置

自然発火試験（SIT）装置は(株)島津製作所製SIT－2型を用いた。Figure 3.3.1にこの装置の原理図を示す。またFigure 3.3.2に試料セルと試料の充填状態を示す。石英製の試料セルは、試料部にガスを流通させるため底に穴のあいた円筒状（石英製、内径11mm,高さ10mm）の形状をしている。セルの底面にSUS製の網とグラスウールを敷きその上に試料を充填し、上部をグラスウールでカバーする。これを恒温槽内部中央の試料部に取り付け、試料セル内に窒素などの不活性ガスを流す。試料セルの中央部に熱電対を挿入し、試料の温度測定用と断熱制御用に用いる。試料セルの周囲には断熱制御用のヒータと熱電対が設置され、試料部の熱が外部へ逃げないよう試料部と外部の温度差が0になるよう断熱制御を行う。これにより試料内で発生した熱が外部へ流出せず試料内に蓄積され、やがて試料温度が上昇する。この断熱制御を行う事により、少量の試料を用いて、大量の物質を保管したときの熱の放出に近似的に近づけ、大量に保管した場合と同じ効果を導いている。次に、恒温槽の温度を発火試験を行う温度に設定し昇温を開始する。やがて試料部の温度も恒温槽の温度に達し平衡状態となる。ここで試料セル内に流すガスを窒素から空気に切り換える。恒温槽で保持されている温度に応じて試料が空気と反応して酸化が起こり始めると、酸化熱が試料内に蓄積され試料の温度が徐々に上がり始める。ある時間経過すると試料の温度が恒温槽の温度より高くなり、自然発火が起こったことを知ることができる。

また、この装置は任意に設定した消火温度に達すると、大量の窒素ガスを一定時間流し酸化反応を停止させる保安機能をもっている。これは、酸化による試料の温度上昇が続き、ついに発火点に達し試料が試料セル内で燃え出し火災となることを防止するために有効である。

3.3.4 手順

1）粉末状の試料が試料セル底部のガスの入り口よりこぼれないよう、試料セルの底にSUS製の網とグラスウールを1mm敷く。そのうえに試料を約820mg秤量して入れ、均一に再現性よく充填できるよう軽くタッピングする。(Figure 3.3.2参照)

2) 消火時に試料が排気口へ吹き飛ばないように、試料セル内の上部にグラスウールを 0.5mm 敷き、試料セルを恒温槽中央の試料部に取り付ける。このとき測温用熱電対の先端が試料の中央部に再現性よくセットされていることを確認する。(Figure3.3.2 参照)

3) 試料部に窒素ガスを約 20 分流し、試料セル内を窒素置換する。

4) 試料部に流す窒素ガスの流量を 5ml/min に調整する。

5) 試料部の発熱が暴走し、急激な温度上昇による火災や装置の破損を防止するため最大加熱速度、実験終了温度などの数値を入力する。

6) その他の実験条件を入力する。

7) 恒温槽の温度を所定の環境温度に昇温する。

8) 試料部が所定の保持温度に達し、恒温化したら(昇温開始から約 100 分後)窒素ガスを空気ガス（流量：5ml/min）に切り換える。

9) 酸化反応が起こり、試料温度が上昇し自然発火を検出したら、あらかじめ設定した実験条件に応じて実験が終了していること確認する。また実験上の異常をチェックする。

10) 酸化反応が起こらず温度上昇がない場合は、そのまま実験を最大一週間続けるか、途中で終了するかを判断する。

11) 試料の特性や、充填方法に多少のバラツキが考えられるため実験の再現性を確認する。

12) 実験結果を解析する。

3.3.5 結果と考察

1) SIT による肉骨粉の自然発火温度の実験結果

Figure 3.3.3 に環境温度 185.6℃保持したときの肉骨粉の測定チャートを示す。横

軸は温度を示し、縦軸は試料温度（赤）と断熱制御状態（青）を示す。SIT の断熱昇温曲線は、試料内に熱の発生がないときは恒温槽の一定温度を保つ。熱が蓄積され自然発火が起こると試料温度の上昇を示す。Figure 3.3.4～Figure3.3.9 に環境温度を168℃，178℃，185℃，193℃，200℃，210℃に保持したときの肉骨粉の断熱昇温曲線を示す。また Figure 3.3.10 にこれらの断熱昇温曲線の重ね書きを示す。この結果、実験した保持時間（約 160 時間）の範囲内では、185℃～210℃で自然発火による発熱を観測し、178℃以下では自然発火による発熱は観測されなかった。このように 1g 以下の少試料を用いた SIT の実験条件では、肉骨粉の酸化による自然発火を観測する最低温度は、178℃～185℃にあることが分かった。それぞれの環境温度で保持したグラフから読みとった、接線交点時間、誘導時間、発熱の有無を Table 3.3.1 に示す。ここでの接線交点時間は、一定保持温度の延長線と断熱昇温曲線上の最大傾斜から引いた接線の交点までの時間とし、誘導時間は、空気を導入してから接線交点までの時間をとった。

誘導時間の対数を 1/T に対してプロットしたものを Figure 3.3.11 に示す。両者の関係は R 値が 1 に近いきれいな直線に乗っている。この図より一週間後に酸化により温度上昇が起こると推定される温度(自己加速発熱分解温度　SADT)[5]を求めると、肉骨粉の場合は 157℃となった。

2) SIT による天かすの自然発火温度の実験結果

肉骨粉と比較するために、時々自然発火による火災を起こす天かすについて肉骨粉と同じ条件で SIT 実験を行った。環境温度温度を 61℃，70℃，75℃，88℃，93℃，160℃に保持したときの天かすの断熱昇温曲線を Figure 3.3.12～Figure 3.3.17 に示す。また、それぞれの環境温度のグラフから読みとった、接線交点時間、誘導時間、発熱の有無を Table 3.3.2 に示す。天かすの酸化による自然発火を起こす温度は肉骨粉よりも 110℃低く、環境保持温度 75℃から発熱が観測された。また、肉骨粉では発熱が観測されなかった 160℃では、酸素導入後十数分で断熱昇温曲線に発熱方向のずれを観測している。一方 61℃で保持した場合は、12000 分（200 時間）以内での発熱は観測されなかった。Figure 3.3.18 に誘導時間の対数と 1/T の関係を示す。この図より求めた、天かすが一週間後に酸化による温度上昇を起こすと推定する温度(自己加速発熱分解温度　SADT)は 69.4℃であった。

3) 活性化エネルギー

化学反応が起こるためには、ある高さのエネルギーの障壁を越さなければならない。この障壁の高さを活性化エネルギーと言い、この値が小さい程反応の進む速度が大き

い。

自然発火現象の初期は、極めてゆっくりした温度上昇期間（いわゆる誘導期）が長く続く。この間温度上昇はわずかで発熱反応は零次反応にしたがうものと近似することができる。環境温度 Ts において断熱条件下にある試料が零次反応速度式にしたがって発熱する場合、つぎの式が成立する[6]。

$$\log \Delta t = E/(2.303R \cdot Ts) + \log([\Delta Ts \cdot c \cdot \rho] / [\Delta H \cdot A])$$

ここで、c, ρ, ΔH, R はそれぞれ比熱(J/g·deg)、密度(g/cm³)、モル反応熱(J/mole)、理想気体定数(J/〔mole·deg〕)、また Δt(min) は環境温度 Ts にある試料が ΔTs(deg) だけ上昇するに要する時間、E,A は見かけの活性化エネルギー（J/mole）および頻度因子（mole/〔cm³·min〕）である。

ここで 1/Ts に対して logΔt をプロットして、得られた実験式の勾配から活性化エネルギーを求めることができる。

このようにして求めた肉骨粉と天かすの活性化エネルギーは次のとおりである。

肉骨粉：173.6J/mol

天かす：85.3J/mol

肉骨粉の方が天かすよりも活性化エネルギー高く、反応を起こすために乗り越えなければいけない障壁が高いことが分かった。

4）まとめ

実際の酸化による自然発火温度は、貯蔵量、充填密度、梱包の方法、熱の逃げ方、空気の供給状態、保管時間などにより異なるが、SIT を用いて同一条件で比較実験を行ったとき、肉骨粉の自然発火を起こす最低温度は、179℃～185℃にあり、天かすよりも約 110℃高い。一週間後に酸化により温度上昇が起こると推定される温度も157℃で天かすに比べて約 88℃高い。以上のことから、肉骨粉は酸化により自然発火を起こすことが明らかになったが、その危険性は天かすに比べて低いことが分かった。より現実的な自然発火の最低発火温度を求めるためには、国連危険物輸送勧告書に定める自己発熱性試験（ワイヤーバスケット法）などを行う必要がある。

3.4　自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）

3.4.1　実験目的

実際の自然発火は貯蔵量、貯蔵方法、空気との接触法、熱の逃げ方など、色々な条件の影響を受ける。ここではより現実的な条件での自然発火の状況を把握するために、

自然発火試験（SIT）の約 750 倍に相当する 620g の試料量を用い、恒温槽の中央に吊り下げたかごの中に試料を入れ、試料の中心部の温度を観測する自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）を行った。この試験は国連勧告に準拠した試験法で、固体物質が空気中で任意温度に加熱保持された場合の、酸化発熱による火災発生の危険性を判断することを目的とする。

また、恒温槽内部の温度を 140℃で 24 時間維持し、自然発火が起きるかまたは 200℃以上の温度上昇があるかを観測し、自己発熱性物質かどうかの判定も行う。

3.4.2 試料

肉骨粉は、富士化学株式会社製ミートボーンミール（約牛 50%、豚 40%、鶏 10%の混合物）を用いた。

3.4.3 試験装置

Figure 3.4.1 に自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）の概略図を示す。恒温槽は、タバイエスペック(株)製の安全扉付セーフティオーブン型式 SPH-200(設定最高温度：200℃)を用いた。この恒温槽の内寸法は、縦 60cm、横 60cm、高さ 60cm で、内容積 216 リットルである。試料容器は、目開きが 0.053mm のステンレス製の網で作られた、上部が開放された一辺が 10cm の立方体で、恒温槽の中央部にセットする。試料容器カバーは、目開きが 0.595mm のステンレス製の網で作られ、試料容器を内部に収納するために試料容器よりわずかに大きな寸法の上部が開放された立方体である。かごは、目開きが 0.595mm のステンレス製の網で作られた、縦 15cm、横 15cm、高さ 25cm の下部の開いた箱型で、恒温槽内の対流を防いでいる。

試料容器に秤量した試料を、試料容器カバーに収納し、かごの中央部にセットする。恒温槽を制御して、試料の環境温度を一定に保つ。このときの試料の温度と恒温槽の温度を、試料の中と恒温槽の中に設置した熱電対で継続的に検出し、試料の酸化による温度変化を調べ、発熱の情報を把握する。

3.4.4 実験手順

1) 恒温槽の中央部にかごを吊り下げる。

2) 試料容器に肉骨粉約 620g を充填し、実験前の重量を秤量する。このとき、試料が山盛り状になるよう試料容器に入れ、試料容器全体を静かにたたき、薄い板で試料容器の上縁より上のものは取り除く。

3) 肉骨粉を充填し、秤量した試料容器を試料容器カバーに収納し、かごの内側の中央部に設置する。(Figure 3.4.2)

4) 試料容器の中心部に、試料温度測定用の熱電対を各測定毎の再現性が保たれるよう設置する。

5) 恒温槽の内壁とかごとの中間部に、試料の置かれている環境温度すなわち恒温槽の温度測定用の熱電対を設置する。

6) 恒温槽の温度を試験したい温度に設定し、試料を24時間設定した環境温度に保つ。この間、恒温槽の温度と試料温度を熱電対で検出し 24 時間連続的に記録する。また同時に、加熱中の試料の発火状況を連続的に観察する。

7) ひとつの環境温度の試験が終了したら、装置の各部を清掃し、次の環境温度で試験を行う。
今回の試験の設定環境温度は、110℃、120℃、130℃、140℃、150℃、160℃の 6 段階で行った。

8) 各設定温度での試料の発熱状況を試料温度の変化から読み取り、60℃を越える発熱の有無を確認する。

3.4.5 実験結果と考察

110℃から 160℃まで 10℃間隔で実験した肉骨粉の自己発熱性試験の時間—温度曲線を Figure 3.4.3 ～Figure 3.4.8 に示す。またそれぞれの試験終了後の肉骨粉の写真を、Figure 3.4.9 ～Figure 3.4.14 に示す。Table 3.4.1 に、試験した恒温槽の各温度に対する最大発熱分解温度、発火危険性の判定、試験前と試験後の重量変化など、今回の試験結果を一覧表にまとめた。発火危険性の判定基準は、恒温槽の設定温度より 60℃以上の発熱による温度上昇のあるものを危険性あり（○）とし、恒温槽の設定温度より 60℃以下の温度上昇しかないものを危険性なし（×）とした。

恒温槽の設定温度が 110℃、120℃、130℃、140℃では、試料の発熱による設定温度以上の温度上昇が 8℃～23℃で、60℃以上の温度上昇は見られなかった。また、設定温度に達するまでに6時間から8時間を要し、重量減少量も 7.5g～16.3g と少ない。また写真からも肉骨粉の色が少し濃くなっているが、こげている様子はない。よって今回の試験条件の範囲内では、140℃以下での温度での火災発生の危険性はきわめて

低いといえる。

一方、恒温槽の設定温度が 150℃と、160℃では、発熱による設定温度以上の温度上昇がそれぞれ 158℃と 120℃で、60℃より大きな温度上昇があった。また、設定温度に達するまでの時間も 4 時間と短く、重量減少量も 156.8g から 178.8g と設定温度が 140℃以下より一桁多く分解が起っている。写真からは肉骨粉の茶色が消え灰色に変色し、明らかに分解が進行し、大きな熱が発生したことが分かる。

以上のことから、今回の試験条件の範囲内において、肉骨粉の発火危険性は 140℃～150℃を境に大きく異なり、141℃～150℃以上の温度で保持した場合はは、酸化により試料内で発生した熱が蓄積され、試料温度が上昇し火災が発生する危険性があることが分かった。

また、恒温槽内部の温度を 140℃で 24 時間維持したとき、自然発火または 200℃以上の温度上昇は認められなかった。この結果、肉骨粉は自己発熱性物質には該当しないことが判明した。

3.5　小ガス炎着火試験

3.5.1　目的

肉骨粉の火炎による着火の危険性を判断するために、小ガス炎着火試験 [7]を行った。この試験は、簡易着火器具の火炎を試験物品に接触させ、着火するまでの時間を測定し、燃焼の状況を観察するもので、3 秒以内に着火し、かつ、燃焼を継続するものを第 1 種可燃性固体、3 秒を超え 10 秒以内に着火し、かつ、燃焼を継続するものを第 2 種可燃性固体、10 秒を超えて着火するものおよび燃焼を継続しないものを危険性なしと判断する（Figure 3.5.1 参照)。ここでは、肉骨粉の着火のし易さを確認し、消防法第 2 種の危険物(可燃性固体＝火炎により着火しやすいか、または 40℃未満の比較的低温で引火しやすい固体)に該当するかを判断した。

3.5.2　試料および試料の調整

試料は、製品 C：ミートボーンミール（約牛 50%、豚 40%、鶏 10%の混合物）を流通している形状のまま用いた。試料の前処理として、21℃～24℃に置かれたデシケーター中に 27 時間以上保管し、試料の湿度を調整した。一回の実験には、試料量 $3cm^3$（約 1.5g）を用いた。

3.5.3　装置および試験器具

試験法は、危険物第 2 類の小ガス炎着火試験を採用した。

試験器具としては、以下のものを準備した。

1) 着火器具

先端が棒状の、燃料として液化石油ガスを用いた着火器具。

2) 無機質断熱版

厚さ 10mm 以上、0℃における熱伝導率が 86cal/m・hr・℃以下のもの。

3) ストップウォッチ

4) 点火支持台

約 30 度の接触角度で、火炎を試料に着火させるための着火器具用の支持台。

5) 乾燥用シリカゲル入りデシケーター

以上の必要器具に加えて、今回は着火状況の記録用にビデオカメラを用意した。

3.5.4 試験場所

試験場所としての必要条件は、

1) 大気圧下の無風に近い状態の場所。

2) 燃焼に有害ガスが発生する恐れのある場合は、換気設備のある場所。

3) 燃焼の判断が困難な場合は、試験場所を暗くすることができる場所。

4) 試験場所の温度および湿度の調整

無機質断熱版の周辺の温度および湿度を次の条件に適合するよう調整する。

温度：20±5℃　　湿度：50±10%

以上の条件が揃う場所として、今回は温度および湿度を調整した部屋の中に設置したドラフトを用いた。試験中はドラフトの換気を止め、試験後にドラフトの換気を行い、燃焼により発生したガスの除去を行った。

3.5.5 試験温度および湿度

実験前：温度 23.5℃　　湿度 41%

実験後：温度 24.1℃　　湿度 41%

3.5.6 試験方法および手順

1) 肉骨粉 1.5g（3cm^3）を秤量し、無機質断熱版の上に置き、堆積物が半円球状になるよう形を整える。

2) 着火器具の口金を上に向けて点火し、拡散炎の長さが約 70mm になるように調節する。

3) 炎と試験物品の接触面積が 1～2cm²、接触角度が約 30 度となるよう炎を試験物品に接触させる（Figure3.5.2)。このとき接触条件を一定に維持するために着火器具を固定する支持台を用いる。

4) 炎を試験物品に接触させてから 10 秒後に炎を試験物品から離す。

5) 炎を試験物品に接触させてから試験物品に着火するまでの時間をストップウォッチで測定し、燃焼を継続するか否かを観察する。

（注）10 秒間接触させて着火しない場合は、「不着火」と評価する。

（注）燃焼とは、「有炎燃焼」または「無炎燃焼（炎を出さずに赤熱する燃焼)」をいう。

（注）「燃焼を継続する」とは、次のものをいう。

① 火炎を試験物品に接触させている間に試験物品のすべてが燃焼する場合

② 火炎を離した後 10 秒経過するまでの間にすべてが燃焼する場合

③ 火炎を離した後 10 秒以上継続して試験物品が燃焼する場合

6) 1) ～5) の操作を合計 10 回繰り返し、燃焼を継続した場合に測定された着火するまでの時間のうち最も短いものを着火時間とする。

7) 次の分類法に従って結果の評価を行う（Figure 3.5.1)。

① 着火時間が 3 秒以下の場合は、第 1 種可燃性固体と判断する。

② 着火時間が 3 秒を超え 10 秒以下の場合は、第 2 種可燃性固体と判断する。

③ 10 回の実験において、すべて不着火の場合または燃焼を継続しなかった場合は、危険性なしと判断する。

3.5.7 試験結果と考察

今回の肉骨粉の試験では、着火後の炎の目視が難しかったため、3 秒以下の着火と 10 秒以下の着火に分けて試験を行った。炎を試験物品に接触させて（Figure 3.5.2 参照）から 10 秒後に炎を試験物品から離した場合の試験結果を Table 3.5.1 に示す。この表の燃焼終了時間は、炎を試験物品に接触させてから炎が消えるまでの時間を記録した。10 回の試験中 10 秒以内に着火しなかった不着火（Figure 3.5.3）が 2 回あり、残り 8 回は着火（Figure 3.5.4）した。しかし火炎を離してから 10 秒以上継続して燃焼するケースはなく、すべて燃焼を継続せずと判断した。

炎を試験物品に接触させてから3秒後に炎を試験物品から離した場合の試験結果をTable 3.5.2に示す。この試験は3回行ったが、3回とも3秒以内の着火はなくすべて不着火であった。Table 3.5.1で示した10秒以下の着火試験と合わせて考え3秒以下の着火はないと判断した。

参考までに、肉骨粉に20秒間着火器具の炎を接触させた場合の試験も行った。この結果をTable 3.5.3に示す。20秒以内に十分着火し、燃焼は10秒間以上継続した。

以上Table 3.5.1、Table 3.5.2に示したとおり、今回の試験において肉骨粉は燃焼を継続することがなかった。従って肉骨粉は消防法第2類の危険物可燃性固体には該当せず、危険性なしと判断した。

なお第2類の危険物の可燃性固体には硫黄や鉄粉などがあり、比較的低温で着火しやすく、燃焼速度も速い[8)]が、肉骨粉はこれらに該当しないことが分かった。

3.6 燃焼熱測定（ボンベ型熱量計）

3.6.1 目的

酸化により試料の温度が上昇し分解燃焼が起ったとき、その周りへの影響は燃焼熱が大きい程大きく、激しい。ここでは肉骨粉による燃焼が起り始めたときの、危険性を評価するひとつの材料として分解燃焼によって発生する熱量をボンベ型熱量計より求めた。またその値を、身近にある材料の値と比較検討した。

3.6.2 試料

試料は、燃焼熱の測定と同時に製造工場による差を確認するために、農林水産省より提供された製品A：肉骨粉（鶏、豚、牛が混ざったもの）と、当研究所で富士化学株式会社より入手した製品C：ミートボーンミール（約牛50%、豚40%、鶏10%の混合物）の二種類を、特別な前処理を加えずそのままの状態で用いた。

3.6.3 装置

熱量測定には、JIS M 8814(1993年)に準拠した島津—燃研式自動ボンベ熱量計CA—4Pを用いた。この熱量計は、試料をボンベの中で高圧酸素を用いて完全に燃焼させ、このとき発生した熱を一定の水量の水に全て吸収させ、その水温の上昇によって、試料の燃焼熱を求めるものである。

Figure 3.6.1にこの装置の概略図を示す、また、Figure 3.6.2にボンベの構造図をしめす。試料を燃焼皿に秤量して、点火線をつけてボンベ内にセットし、高圧酸素を導入する。点火線に電流を瞬時に流し、試料を完全に燃焼させる。このとき発生する

熱を、ボンベの周辺にある内槽の一定量の水に伝える。この水の温度は発熱量に比例して上昇する。ここで、この内槽の水からの熱損失がないように、内槽の水の周囲に断熱層(中間槽、外槽)を設ける。ここで燃研式断熱法を採用し、外槽水の温度を内槽水の温度と同一にし相対断熱をおこなわせる。この断熱制御により、試料内で発生した熱は全て内槽の水に吸収される。

このような相対断熱をおこなわせたときの燃焼熱と内槽水の温度上昇の関係は、

$$Q=C(W+w)\Delta T$$

Q：燃焼熱（J）　　C：水の比熱容量（J/g deg）

W：装置の水当量　　w：内槽水の量（g）

ΔT：内槽水の温度上昇（deg）

が成立する。この式で C(W+w)が常に一定になるように装置を設計すれば、

$$C(W+w)=K \qquad Q=K\cdot\Delta T$$

となる。

標準試料(高純度安息香酸)を用いて装置定数 K を求めておけば、未知試料の温度上昇ΔT を測定することにより、この試料から発生した熱量 Q を求めることができる。今回の測定では、熱量標定用安息香酸錠剤約 1g を用いて装置の校正を行った。

3.6.4　手順

1) 粒度 2.5mm 以下の肉骨粉約 0.5g 秤量し雁皮紙に包み、試料皿に入れる。

2) 試料皿をボンベ蓋に取り付けられた試料皿保持器に設置する。

3) 点火用ニッケル線を電極にはさみ固定する。

4) ボンベ蓋をボンベ本体に入れ、O リング、メタルリングを装着し袋ナットを手で充分に締め付ける。

5) ボンベ内に酸素を導入する。

6) 準備のできたボンベを、一度静かに水中に沈め、ガス漏れ検査を行う。

7) ボンベを内槽蓋に取り付けられたボンベ吊り下げ金具に設置し、点火用のプラグを

ボンベに接続する。

8) 内槽蓋を下ろしボンベを内槽に設定する。

9) 装置の操作パネルに従って装置を操作し、測定を開始する。

10) 測定終了後、今回の測定によって検出された測定熱量を読み取る。

11) この測定した熱量に含まれている雁皮紙や点火用ニッケル線の燃焼熱量などの補正を行い、試料のみの燃焼熱量を求める。
この値を用いた試料量で割り、単位質量あたりの燃焼熱量を求める。

3.6.5 結果と考察

Table 3.6.1 にボンベ熱量計による肉骨粉の燃焼熱量の測定結果を示す。製品 A と製品 C の燃焼熱量はそれぞれ、18,550KJ/Kg と 18,620KJ/Kg であった。両者の差は約 0.4%でほぼ同じ値を示し、肉骨粉の製造工場の違いによる大きな差がないことが確認された。

Table 3.6.2 にいろいろな燃えやすい物質の燃焼熱量を示す。肉骨粉の燃焼熱量はタバコよりも 1.26 倍大きく、布や木炭や石炭などの 60%～89%であり、重油の 50%以下である。これらの結果から肉骨粉の燃焼熱による危険性はタバコよりも大きく、布や木炭や石炭よりも小さく、たき木に近いことが分かった。

第4章　まとめ

肉骨粉の酸化による危険性の概要を把握するために、今回行った実験の項目、目的、結果の一覧表を下記に示す。

実験項目	目的	結果	備考
TG－DTA	熱分解特性の把握	室温～180℃は、脱水 180℃～390℃は、分解燃焼 390℃～620℃は炭素の燃焼	減量率 4～5%、吸熱 減量率 42～43%,発熱 減量率 32～33%,発熱
	製造工場による差の確認	基本的には同じ熱分解挙動	差はないと判断
	発熱開始温度の確認	180℃～190℃付近から	180℃以下の可能性有
ASTM 式発火点試験	発火点の測定	発火点は 468℃	木材(400～470℃)や コルク(470℃)に近い
自然発火試験(SIT)	自然発火発生温度	178℃～185℃から	試料量：820mg 天かすは 75℃から
	一週間後に発火する温度	157℃（SADT）	天かすは 69.4℃
	活性化エネルギー	173.6J/mol	天かすは 85.3J/mol
自己発熱性試験 (ワイヤーバスケット)	発火危険性の判定 (60℃以上の温度上昇)	150℃以上発火危険性有り (150℃以上で温度上昇あり)	試料量：620g (140℃以下ではなし)
	自己発熱性物質の判定	自己発熱性物質ではない	140℃で自然発火なし
小ガス炎着火試験	着火性 燃焼性 着火の危険性評価	10 秒以内に着火 10 秒以上燃焼を継続しない 危険性なしと判断	10 回中 2 回は不着火 最長で 4.5 秒燃焼
	可燃性固体に該当するか	可燃性固体ではない	10 秒以上燃焼継続なし
燃焼熱	製品 A の燃焼熱量の測定 製品 C の燃焼熱量の測定	18,550KJ/Kg 18,620KJ/Kg	平均：18,585KJ/Kg 薪に近い燃焼熱量

(1)　TG－DTA

製造工場の異なる肉骨粉の製品Aと製品Bを比較した結果、熱分解挙動は概ね同じ傾向を示し、工場間による大きな差がないことが判明した。これは、ひとつの工場の製品を測定することにより、肉骨粉全体の特性を推測することができることを意味している。

肉骨粉の熱分解は大きく三段階に分かれて起っている。室温～180℃では、約4～5%の脱水による減量が観測され、180℃～390℃付近には有機成分の分解による減量（42～43%）と燃焼、また、390℃～620℃には炭化物の分解燃焼による減量（32～33%）と発熱が観測された。650℃以上は、分解の残りの灰分による残渣で19～24%であった。

DTA曲線から、肉骨粉と空気による酸化反応は、180℃より低い温度で起こり始めていることが分かった。従って、自然発火試験（SIT）や、自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）は、180℃～190℃以下の温度を中心に行い、効率的にデータの収集を行った。

(2)　ASTM式発火点試験

発火点は、着火源なしで物質が自ら燃え出す最低温度であり、発火による危険性を評価するひとつの指標である。ASTM 式発火点試験により求めた肉骨粉の発火点は、468℃であった。この温度はゴムや木炭の発火点よりも高いが、さらし木綿やナイロンの発火点よりは低く、コルク、木材などと同程度である（Table 3.2.2)。日常生活の中でコルクや木材はかなり安定しており、温度管理なしで保管されている。また肉骨粉の蓄積場所が468℃になることは通常ない。従って、肉骨粉が発火点以上の環境温度に置かれ、火災が発生することは考えにくい。

(3)　自然発火試験(SIT)

自然発火は、物質が空気中で発火点よりはるかに低い温度で発熱し、その熱が長期間蓄積され、物質の温度が上昇し、ついに発火点に至り燃え出す現象である。自然発火試験(SIT)装置は、1g 以下の少ない試料量を用いることにより、大きな火災や、大量の分解ガス、煙などの発生を防ぎながら、研究室の環境の中で簡便におおよその自然発火の状況を知ることができる。

自然発火試験(SIT)装置を用いて保持時間160時間の範囲で、環境温度を168℃から210℃まで変えて、肉骨粉の自然発火による発熱を観測した。この結果、保持温度が185℃以上の温度で自然発火による発熱を観測した。一方 178℃以下の温度範囲では

発熱は観測されなかった。従って、この装置の実験条件で自然発火を観測する最低温度は、179℃～185℃にあることが分かった。また、一週間後に酸化により温度上昇が起こると推定される温度(自己加速発熱分解温度　SADT)は 157℃であった。

比較のために、時々自然発火によって火災を起こす天かすについて同様の実験を行った。この結果、天かすが自然発火を観測する最低温度は、70℃～75℃であった。また、一週間後に酸化により温度上昇が起こると推定される温度(自己加速発熱分解温度 SADT)は 69.4℃であった。

以上のことから、まず、肉骨粉は空気との酸化により自然発火を起こすことが明らかになった。この実験により得られた肉骨粉の自然発火発生温度を天かすと比較すると、108℃～110℃高いことが分かった。また一週間後に酸化により温度上昇が起こると推定される温度も天かすに比べて約 88℃高い。これは、肉骨粉の酸化による自然発火の危険性は、天かすよりかなり低いことを示唆している。

自然発火試験(SIT)より求めた肉骨粉と天かすの活性化エネルギーは、それぞれ、173.6J/mol と 85.3J/mol であった。肉骨粉の活性化エネルギーの方が天かすよりも大きく、酸化反応を起こさすために乗り越えなければいけない障壁が天かすよりも高いことが分かった。

(4)　自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）

より現実的な条件で自然発火の状況を把握するために、自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）を行った。これは、自然発火試験（SIT）装置の約 750 倍に相当する 620g の試料量を用い、固体物質が空気中で任意温度に加熱保持された場合の、酸化発熱による火災発生の危険性を判断するものである。

自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）の結果、試料の環境を 140℃以下の設定温度で保持した場合、試料の酸化による 60℃以上の温度上昇は見られず、火災発生の危険性は低いことが分かった。一方、150℃と、160℃では、酸化により 60℃以上の温度上昇があり、大きな熱が発生し、試験後の肉骨粉は灰色に変色していた。この結果、肉骨粉を 141℃～150℃以上の温度で保持した場合は、酸化により試料内で発生した熱が蓄積され、試料温度が上昇し火災に至る危険性があることが判明した。

また今回の実験で、試料の環境温度を 140℃で 24 時間維持したとき、自然発火または 200℃以上の温度上昇は認められなかった。これにより、肉骨粉は自己発熱性物質には該当しないことが明らかとなった。

(5)　小ガス炎着火試験

肉骨粉の火炎による着火の危険性を判断するために、小ガス炎着火試験を行った。

ここでは、肉骨粉の着火のし易さを確認し、消防法第２種の危険物(可燃性固体)に該当するかを判断した。

10 回の試験中 10 秒以内に着火しなかった不着火（Figure3.5.3）が 2 回あり、残り 8 回は着火（Figure3.5.4）した。しかし火炎を離してから 10 秒以上継続して燃焼することはなかった。これらの結果、肉骨粉は消防法第 2 類の危険物可燃性固体には該当せず、危険性なしと判断した。これは、外部からの火種に対する着火危険性は、第 2 類の危険物可燃性固体のように比較的低温で着火しやすく、燃焼速度も速い物質でないことを示している。

(6)　燃焼熱測定（ボンベ型熱量計）

肉骨粉が燃焼を起こしたときの危険性評価のひとつとして、燃焼熱がある。燃焼熱が大きければ、周囲への延焼を起こしやすい。ここでは、ボンベ型熱量計を用いて肉骨粉の燃焼熱量を求めた。

製品 A と製品 C の燃焼熱量はそれぞれ、18,550KJ/Kg と 18,620KJ/Kg であった。両者の差は約 0.4%でほぼ同じ値を示し、肉骨粉の製造工場の違いによる大きな差がないことが確認された。

これらの結果を既存の物質の燃焼熱(Table 3.6.2)と比較すると、肉骨粉の燃焼熱による危険性はタバコよりも大きいが、木炭や石炭よりも小さく、薪に近く、一度発火すると火災拡大の危険性が高いことが分かった。

以上の結果を総合すると、肉骨粉は酸化により自然発火を起こすことが明らかになった。発火点や燃焼熱などの熱特性は木材や、薪に近いことが分かった。酸化による自然発火を起こす温度は、141℃～150℃付近から起こることが確認された。この温度は天かすよりも 90℃～110℃高いことが推測され、自然発火による危険性は天かすより低いことが分かった。

実際の肉骨粉の保管状況は、今回テストした条件よりもはるかに多くの量を、長時間保管している。これらのことを考慮すると、自然発火が起り始める温度は今回の試験結果よりも更に低くなることが予測され、130℃付近より発火する可能性も考えられる。

一方、肉骨粉の貯蔵状況を考えると、保管場所が 130℃付近の高温度で長時間保持されることは通常考えにくい。したがって保管場所の環境温度の上昇により自然発火が起こり、火災に至ることはまずありえない。他方、肉骨粉の製造工程を考えると、釜で煮る段階で 130℃付近まで温度が上がっている。この後、粉末にする段階までに 60℃付近まで冷却する工程になっている。しかし、部分的に冷却が不十分のまま袋詰

されると、かなりの高温のまま保管されることとなり、火災発生の可能性が残る。以上、肉骨粉が酸化により自然発火を起こす可能性としては、肉骨粉の貯蔵場所の保管温度の問題と同時に、肉骨粉の製造工程の冷却にも充分注意を払う必要があることを示唆している。

また、肉骨粉の自然発火の問題は、酸化を原因とする場合だけではなく、微生物による発酵を原因とする場合がある。今回調査した酸化による自然発火の発生温度を考慮すると、実際の火災は微生物による発酵によって起る可能性が高い。この点は今後の課題とする。

参考文献

1) 疋田　強、火災・爆発危険性の測定法、p206、日刊工業新聞社(1980)
2) Semenov, N. N. Theories of Combustion Processes,' Z. Phys.Chem., 48 pp. 571-582 (1928)
3) 危険物技術研究会、危険物確認試験実施マニュアル、p162、新日本法規出版株式会社(1992)
4) 物質の引火点・発火点、http://www4.ocn.ne.jp/~katonet/kagaku/inkaten.htm
5) 吉田　忠雄、化学薬品の安全、p166、大成出版(1982)
6) 琴寄　崇、内藤道夫、産業安全研究所報告 RIIS-RR-28-2、 P3(1980)
7) 危険物技術研究会、危険物確認試験実施マニュアル、p36、新日本法規出版株式会社(1992)
8) 消防危険物、消防大学校監修、消防科学総合センター、p81(1997)

謝辞

本研究を行うにあたり、肉骨粉の製造に関する資料と情報の提供をいただき、また実際の製造工場を案内いただきました、富士化学株式会社の福間壤専務取締役、ならびに、ASTM 式発火点試験と自己発熱性試験（ワイヤーバスケット試験）の実験を行った、日本カーリット株式会社の芝崎健寿主任研究員に深く感謝いたします。

表、目次

Table 2.2.1	Meat bone meal composition
Table 3.2.1	Result of autoignition test for meat bone meal
Table 3.2.2	Ignition temperature for various materials
Table 3.3.1	SIT result of meat bone meal
Table 3.3.2	SIT result of fried food meal
Table 3.4.1	Wire basket test result of meat bone meal
Table 3.5.1	Small gas flame ignition test result (Existence of ignition within 10 sec.)
Table 3.5.2	Small gas flame ignition test result (Existence of ignition within 3 sec.)
Table 3.5.3	Small gas flame ignition test result (Existence of ignition within 20 sec.)
Table 3.6.1	Measurement result of heat of combustion with bomb calorimeter of meat bone meal
Table 3.6.2	Heat of combustion of various materials

図、目次

Figure 2.2.1 An example of meat bone meal manufacture process
Figure 3.1.1 TG-DTA (Simultaneous thermogravimetry and differential thermal analysis)
Figure 3.1.2 TG-DTA curve of meat bone meal
Figure 3.2.1 ASTM autoignition temperature apparatus
Figure 3.2.2 ASTM autoignition test (Sample injection tube)
Figure 3.2.3 ASTM autoignition test (Sample injection method)
Figure 3.3.1 Spontaneous Ignition Tester
Figure 3.3.2 SIT sample cell and filling method of a sample
Figure 3.3.3 SIT output chart
Figure 3.3.4 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 168℃)
Figure 3.3.5 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 178℃)
Figure 3.3.6 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 185℃)
Figure 3.3.7 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 193℃)
Figure 3.3.8 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 200℃)
Figure 3.3.9 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 210℃)
Figure 3.3.10 SIT curves of meat bone meal
Figure 3.3.11 The relationship between the logarithm of the induction period and 1/Ts for meat bone meal
Figure 3.3.12 SIT curve of fried lees (Test temperature 61℃)
Figure 3.3.13 SIT curve of fried lees (Test temperature 70℃)
Figure 3.3.14 SIT curve of fried lees (Test temperature 75℃)
Figure 3.3.15 SIT curve of fried lees (Test temperature 88℃)
Figure 3.3.16 SIT curve of fried lees (Test temperature 93℃)
Figure 3.3.17 SIT curve of fried lees (Test temperature 160℃)
Figure 3.3.18 The relationship between the logarithm of the induction period and 1/Ts for fried food lees
Figure 3.4.1 Wire basket test
Figure 3.4.2 Wire basket test (Sample vessel : Basket hanging situation)
Figure 3.4.3 Self Heating Test Time-Temp. Chart (110℃)
Figure 3.4.4 Self Heating Test Time-Temp. Chart (120℃)
Figure 3.4.5 Self Heating Test Time-Temp. Chart (130℃)
Figure 3.4.6 Self Heating Test Time-Temp. Chart (140℃)
Figure 3.4.7 Self Heating Test Time-Temp. Chart (150℃)

Figure 3.4.8 Self Heating Test Time-Temp. Chart (160℃)
Figure 3.4.9 Wire basket test (After test : 110℃)
Figure 3.4.10 Wire basket test (After test : 120℃)
Figure 3.4.11 Wire basket test (After test : 130℃)
Figure 3.4.12 Wire basket test (After test : 140℃)
Figure 3.4.13 Wire basket test (After test : 150℃)
Figure 3.4.14 Wire basket test (After test : 160℃)
Figure 3.5.1 Judgment flow of small gas flame test
Figure 3.5.2 Small gas flame ignition test (Contact of flame)
Figure 3.5.3 Small gas flame ignition test (Non-ignition)
Figure 3.5.4 Small gas flame ignition test (Ignition)
Figure 3.6.1 Automatic bomb Calorimeter (outline)
Figure 3.6.2 Bomb structure

Table 2.2.1 Meat bone meal composition*

Calorie (KJ/Kg)	17,639
Moisture (%)	5.7
Rough protine (%)	50.4
Rough fat (%)	10.6
Rough ash (%)	30.7
Calcium (%)	11.36
Chlorine (%)	0.36
Iron (mg/kg)	500
Copper (mg/kg)	8.5
Cobalt (mg/kg)	9.6
Zinc (mg/kg)	107
Total phosphorus (%)	5.74

* Standard tables of feed composition in japan
(Agricalture,Forestry and Fisheries Reseach Council)

Table 3.2.1 Result of autoignition test for meat bone meal

Sample weight (mg)	75	100	150
Ignition temperature (°C)	474	468	471
Lowest ignition temperature (°C)	468		

Table 3.2.2 Ignition temperature for various materials

Material	Ignition temerature (℃)
Yellow phosphorus	60
Sulfur	190
Red phosphorus	260
Peat	225～280
Charcoal	320～400
Rubber	350
Suger	350
Starch	380
Wood	400～470
Coffee	410
Cocoa	420
Soap	430
Anthracite	440～500
Coke	440～600
Cork	470
Bleached cotton cloth	495
Nylon	500
Epoxy	530～540
Teflon	670

Table 3.3.1 SIT result for meat bone meal.

Holding temperature (°C)	Tangent intersection time (min.)	Induction period (min.)	Heat release
168	–	–	none
178	–	–	none
185	672.1	573.0	existence
193	323.4	223.3	existence
200	231.7	132.6	existence
210	146.6	46.8	existence

Tangent intersection time : Time that is indicated at the intersection of the holding temperature extension and the tangent drawn from maximum slope on the SIT curve.

Induction period : Period between air introducing point and tangent intersection.

Table 3.3.2 SIT result for fried food meal.

Holding temperature (℃)	Tangent intersection time (min.)	Induction period (min.)	Heat release
61	–	–	none
70	–	–	none
75	5170.4	5068.3	existence
88	2441.8	2345.0	existence
93	1706.8	1611.6	existence
160	118.1	18.9	existence

Tangent intersection time : Time that is indicated at the intersection of the holding temperature extension and the tangent drawn from maximum slope on the SIT curve.

Induction period : Period between air introducing point and tangent intersection.

Table 3.4.1 Wire basket test result of meat bone meal

Test temperature(℃)		110	120	130	140	150	160
The maximum decomposition temperature(℃)		118	136	153	163	308	280
Judgment		×	×	×	×	○	○
Weight reduction (g)	Before	622.7	622.7	622.6	622.6	622.7	622.6
	After	615.2	608.6	602	606.3	443.9	465.8
	Reduction	7.5	14.1	20.6	16.3	178.8	156.8
Remarks	Figure	Figure 3.4.3	Figure 3.4.4	Figure 3.4.5	Figure 3.4.6	Figure 3.4.7	Figure 3.4.8
	Photograph	Figure 3.4.9	Figure 3.4.10	Figure 3.4.11	Figure 3.4.12	Figure 3.4.13	Figure 3.4.14

[Judging standard]
○→Generation of heat that exceeds preset temperature by 60℃.
×→Generation of heat that does not exceed preset temperature by 60℃.

Table 3.5.1 Small gas flame ignition test result (Existence of ignition within 10 sec.)

Test No.	Existence of ignition within 10 sec.	Combustion end time	Remark
1	Non-ignition	—	Non-ignition
2	Ignition	14.5 sec.	Non-continuing
3	Ignition	15.0 sec.	Non-continuing
4	Ignition	13.0 sec.	Non-continuing
5	Ignition	11.5 sec.	Non-continuing
6	Ignition	11.0 sec.	Non-continuing
7	Non-ignition	—	Non-ignition
8	Ignition	14.0 sec.	Non-continuing
9	Ignition	14.0 sec	Non-continuing
10	Ignition	12.5 sec.	Non-continuing

Table 3.5.2 Small gas flame ignition test result (Existence of ignition within 3 sec.)

Test No.	Existence of ignition within 3 sec.	Combustion end time	Remark
11	Non-ignition	—	Non-ignition
12	Non-ignition	—	Non-ignition
13	Non-ignition	—	Non-ignition

Table 3.5.3 Small gas flame ignition test result (Existence of ignition within 20 sec.)

Test No.	Existence of ignition within 20 sec.	Combustion end time	Remark
14	Ignition	30 sec.	—

Table 3.6.1 Measurement result of heat of combustion with bomb calorimeter of meat bone meal

Sample	Calorific value (KJ/Kg)
Product A Meat bone meal	18,550
Product C Meat bone meal	18,620

Table 3.6.2 Heat of combustion of various materials

Sample	Calorific value (KJ/Kg)
Cigarette "Highlight"	14,726
Firewood	14,630～18,810
Cloth	22,856
Coal	20,900～31,350
Charcoal	27,170～31,350
Crude petroleum	43,605

From applied data collections of CA-3 (Shimazu-Nenkenn style automatic bomb calorimeter)

Collection

Manufacture line

Meat bone meal

Trans-bag

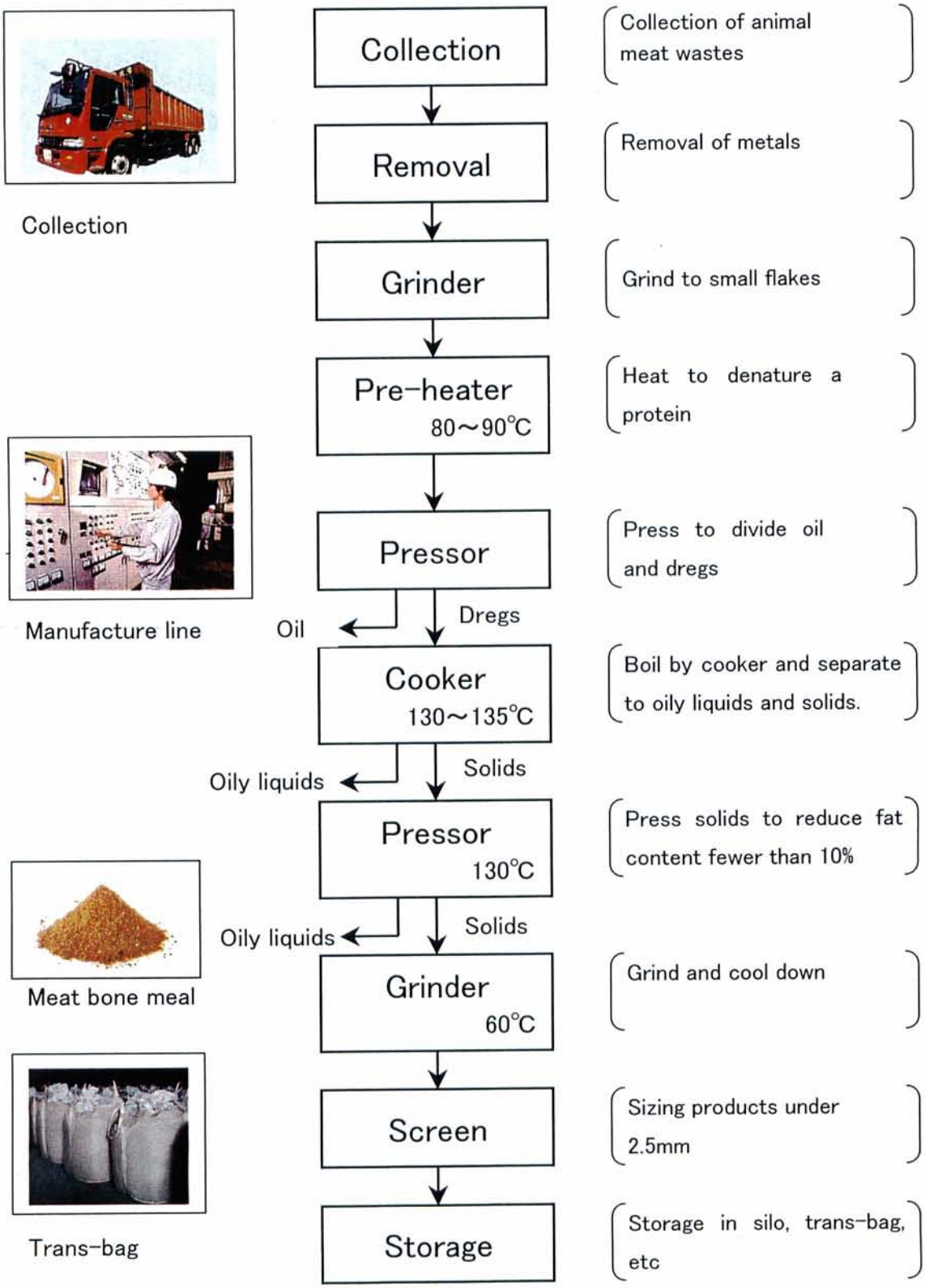

Figure 2.2.1 An example of Meat bone meal manufacture process

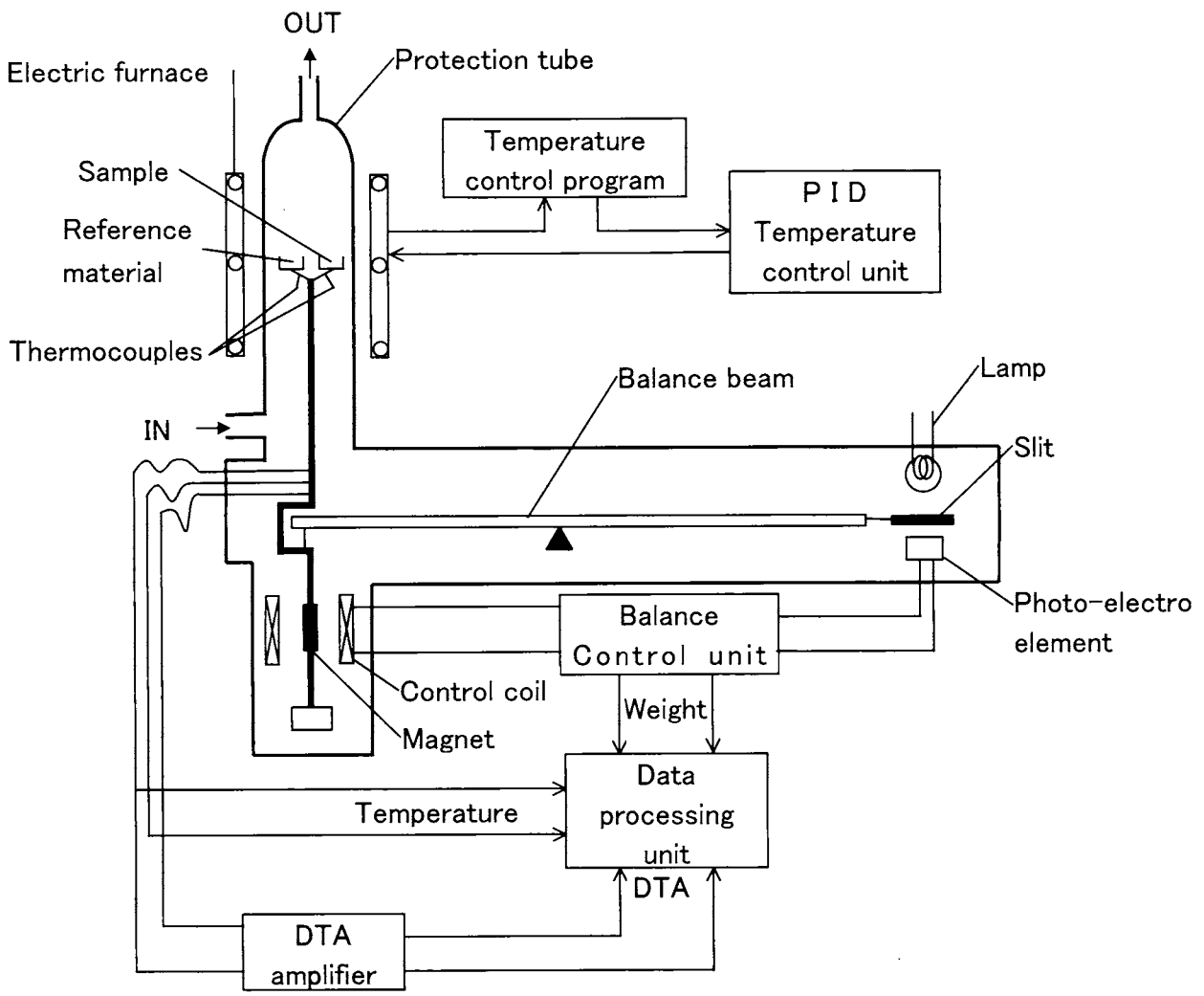

Figure 3.1.1 TG-DTA (Simultaneous thermogravimetry and differential thermal analysis)

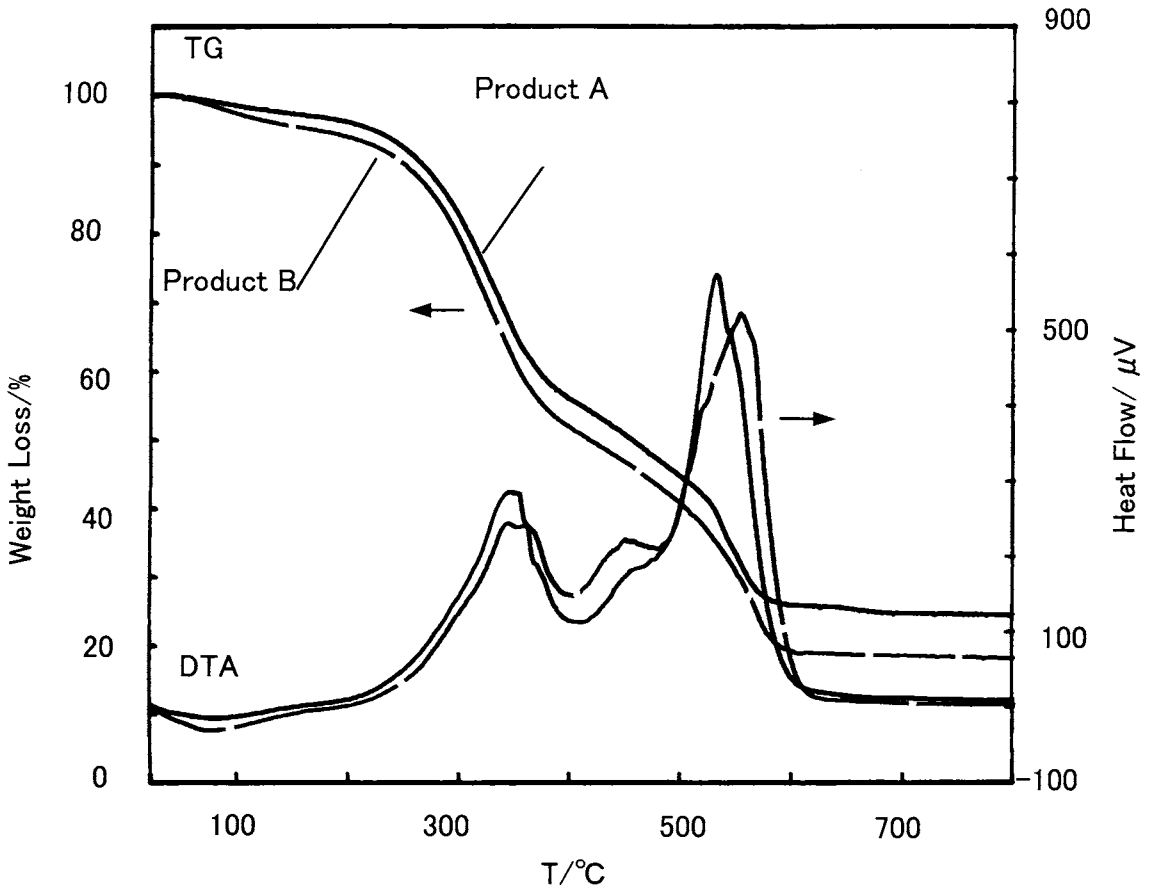

Figure 3.1.2 TG-DTA curve of meat bone meal

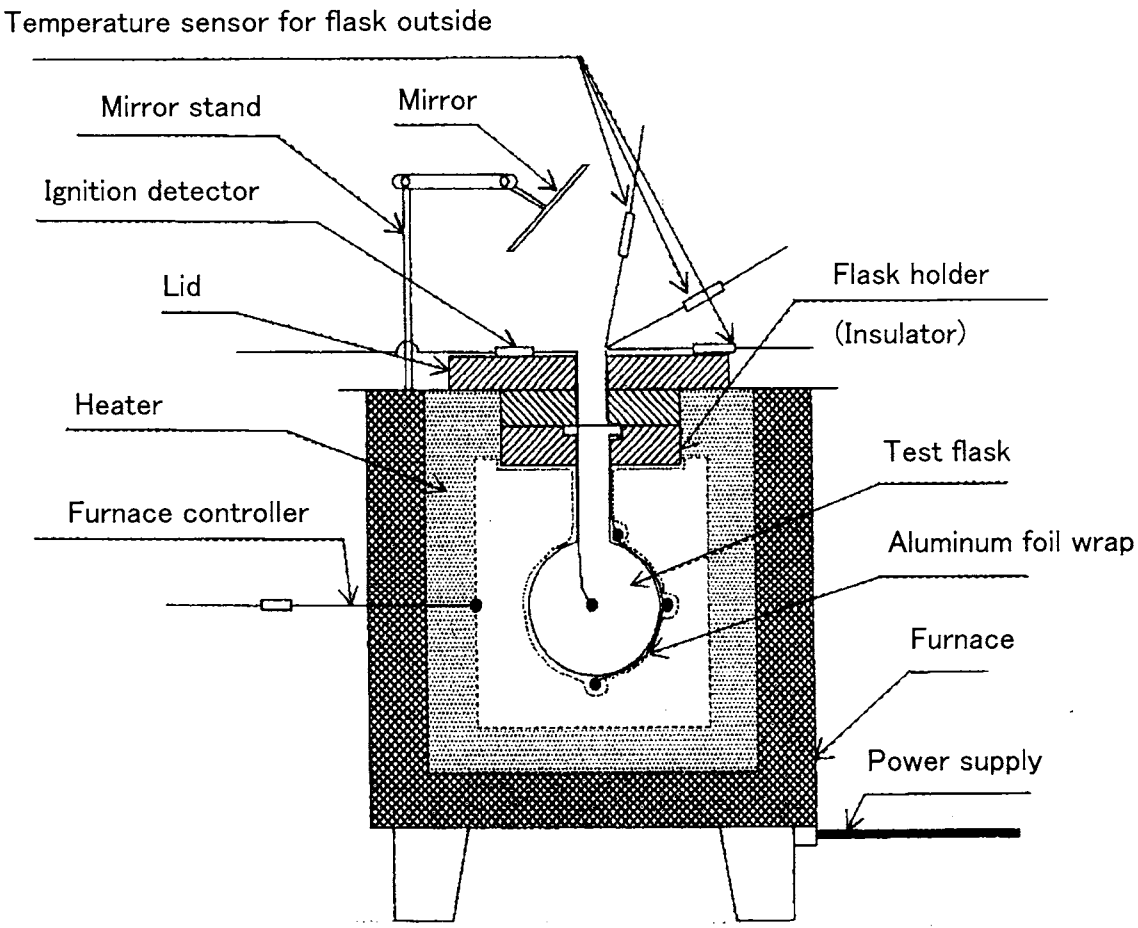

Figure 3.2.1 ASTM Autoignition temperature apparatus

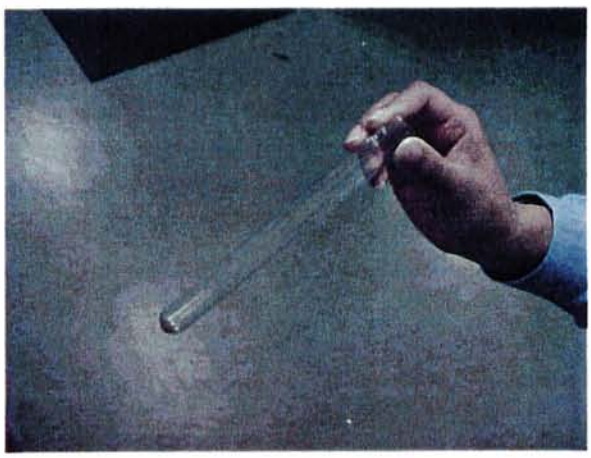

Figure 3.2.2 ASTM auto ignition test
(Sample injection tube)

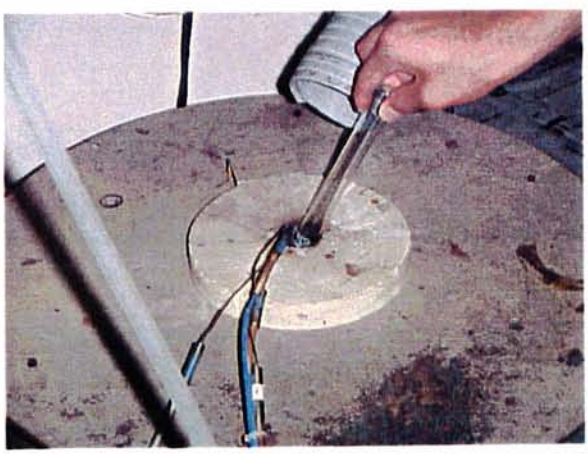

Figure 3.2.3 ASTM auto ignition test
(Sample injection method)

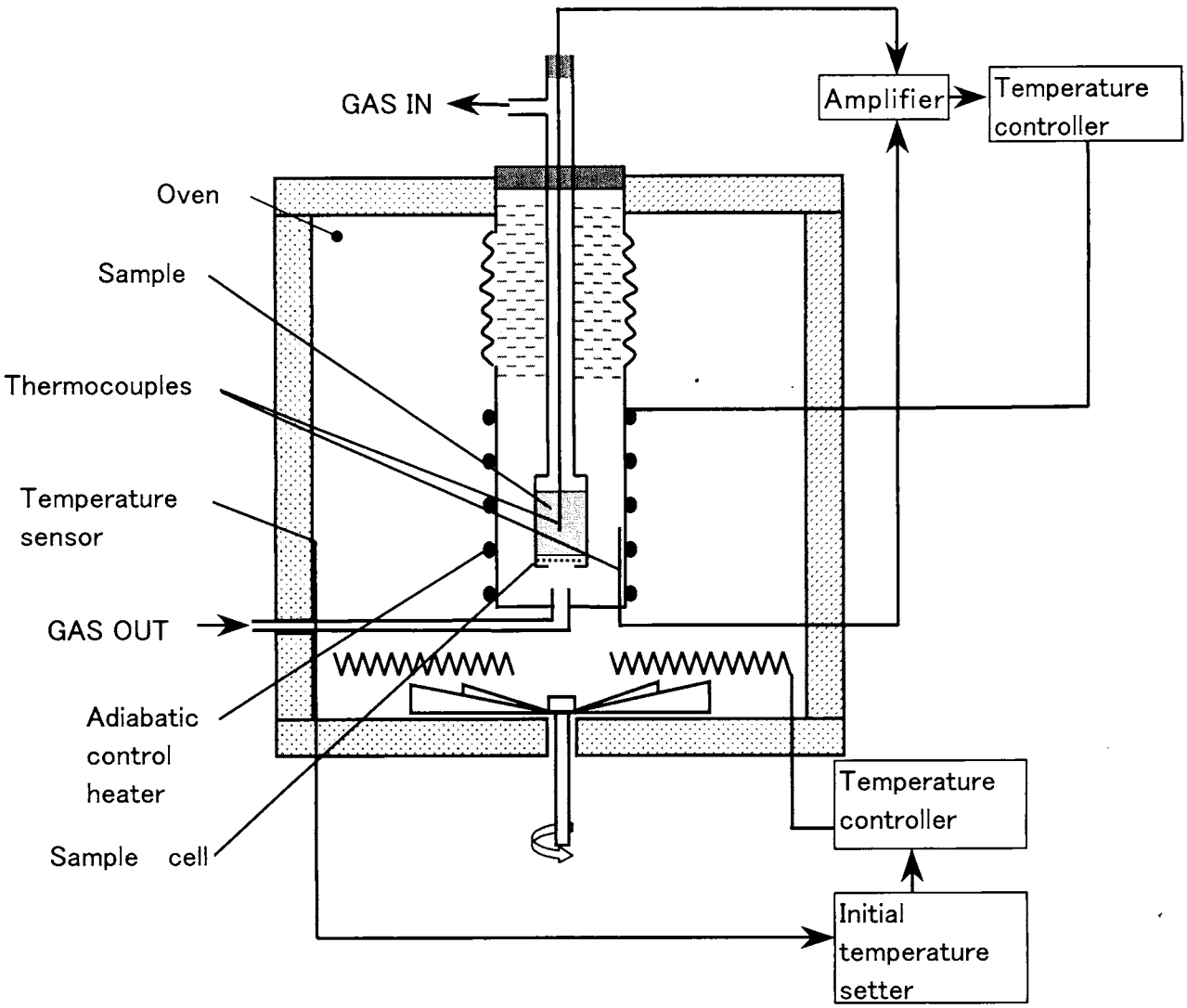

Figure 3.3.1 Spontaneous Ignition Tester

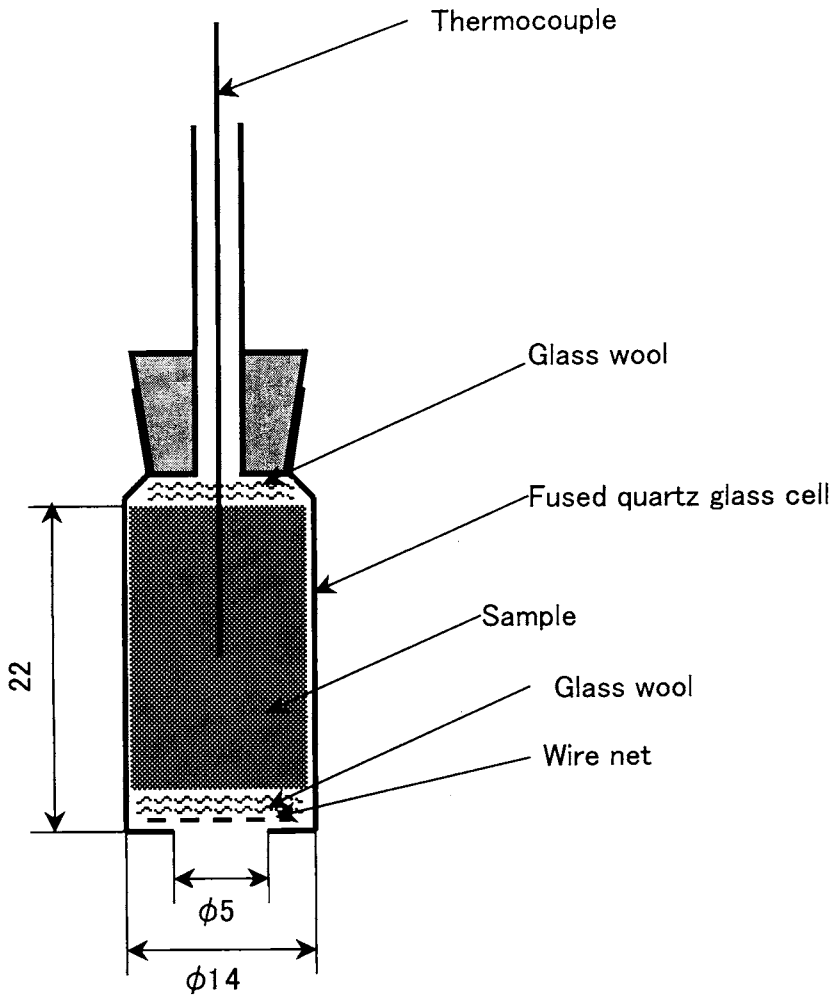

Figure 3.3.2 SIT sample cell and filling method of a sample (Unit: mm)

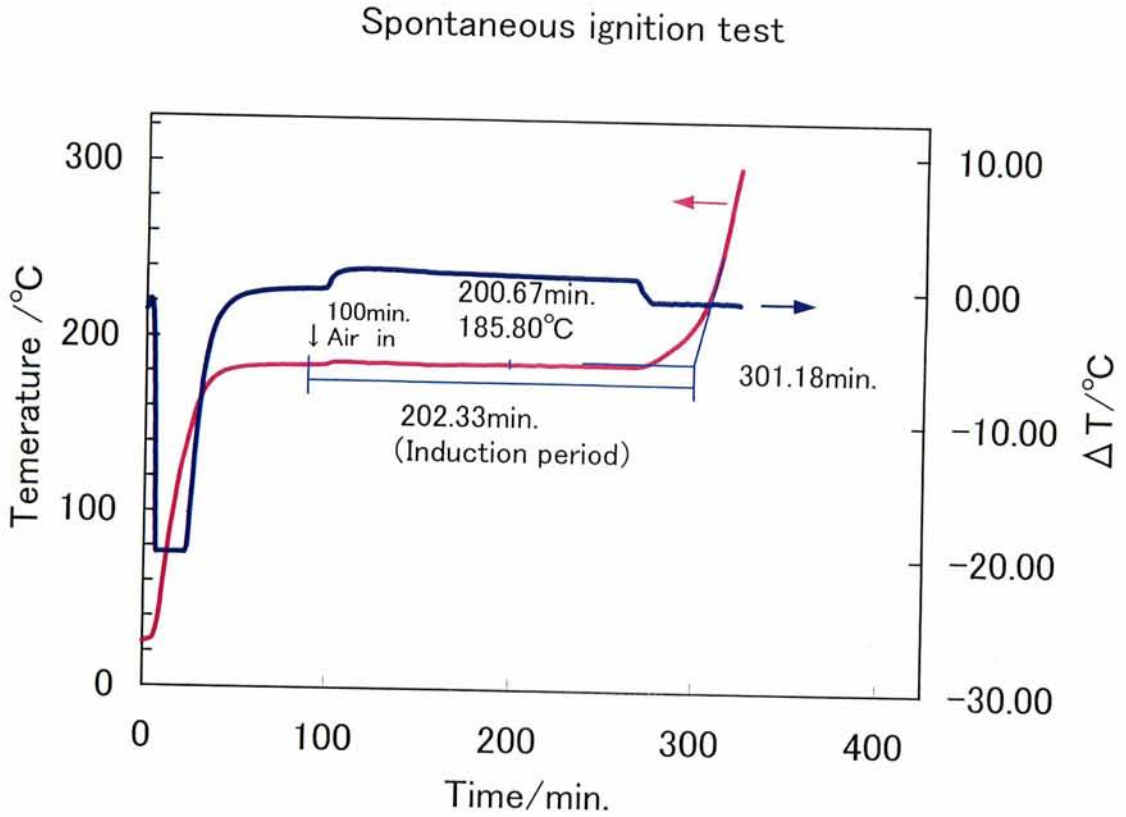

Figure 3.3.3 SIT output chart

ΔT means that temperature difference between sample temperature and outer temperature.

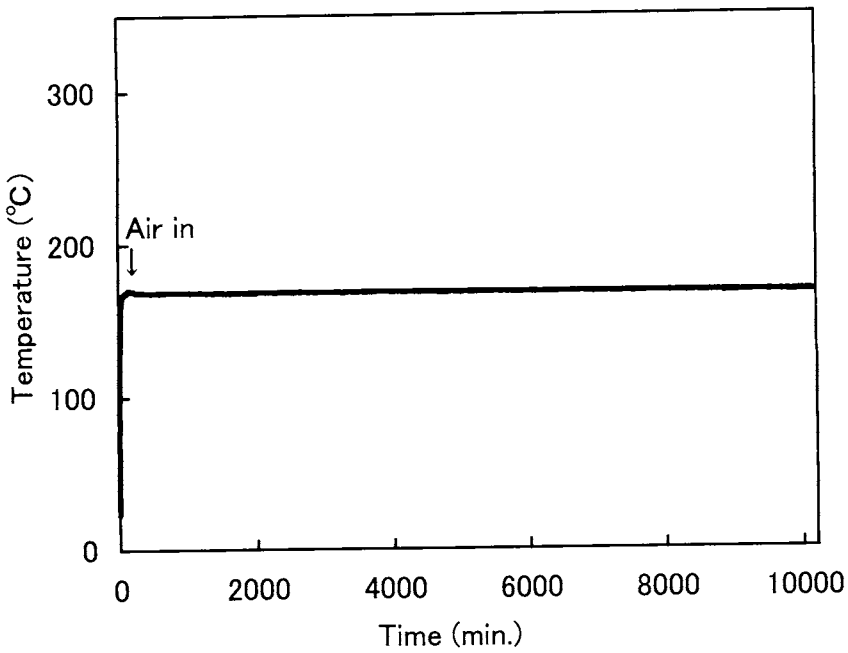

Figure 3.3.4 SIT curve of meat bone meal
(Test temperature 168°C)

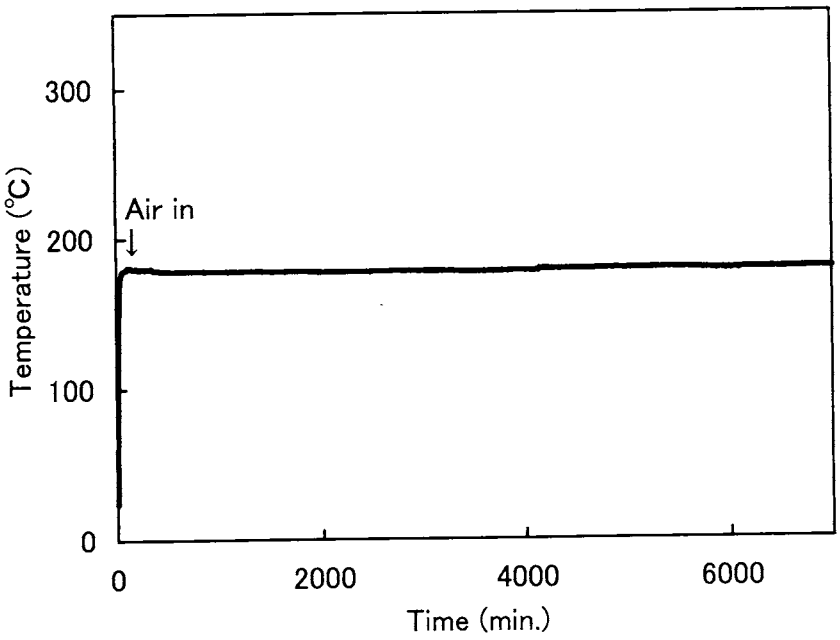

Figure 3.3.5 SIT curve of meat bone meal
(Test temperature 178°C)

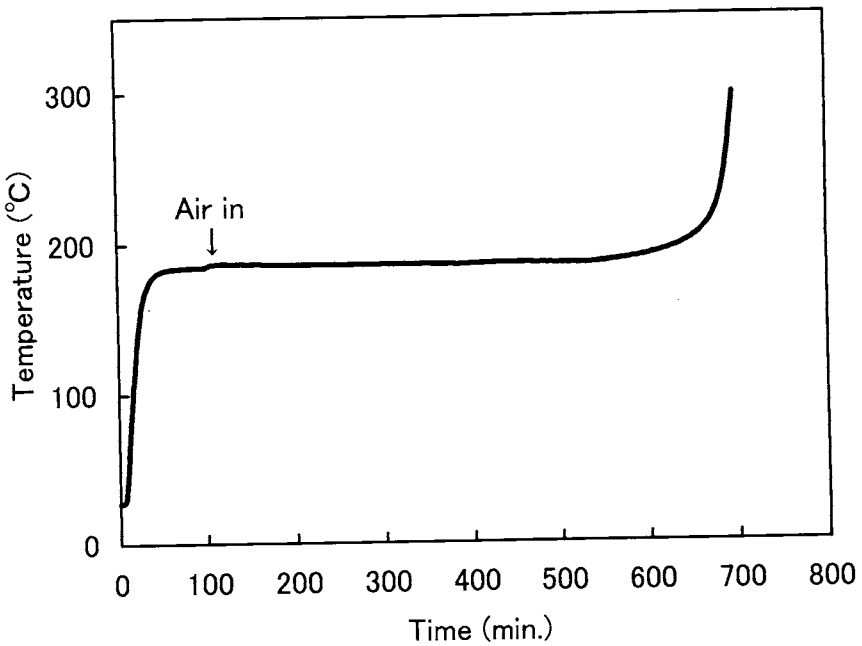

Figure 3.3.6 SIT curve of meat bone meal
(Test temperature 185°C)

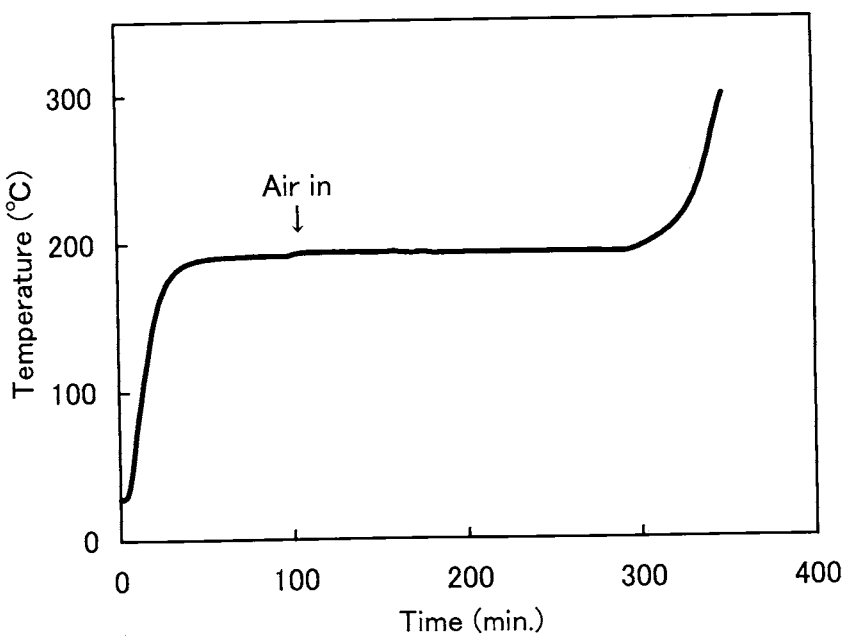

Figure 3.3.7 SIT curve of meat bone meal
(Test temperature 193°C)

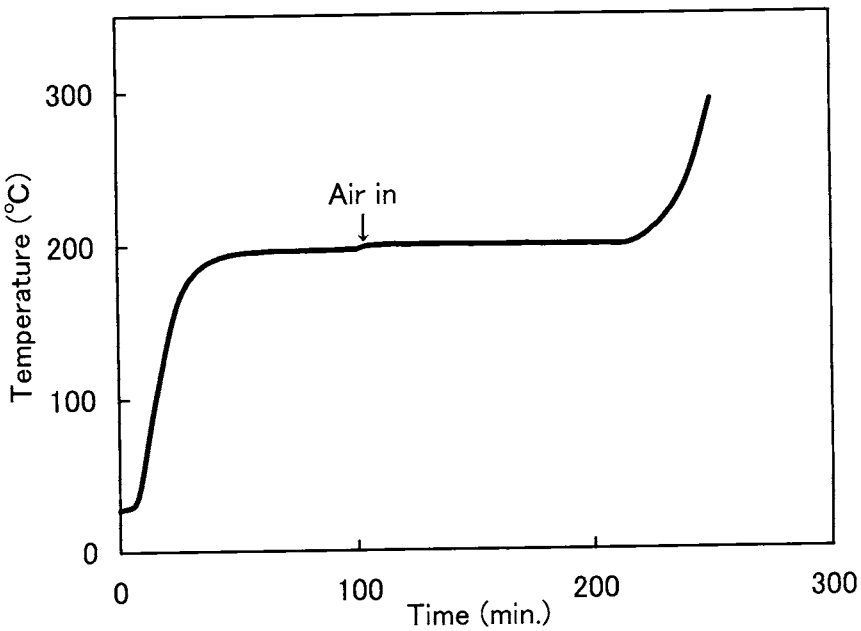

Figure 3.3.8 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 200°C)

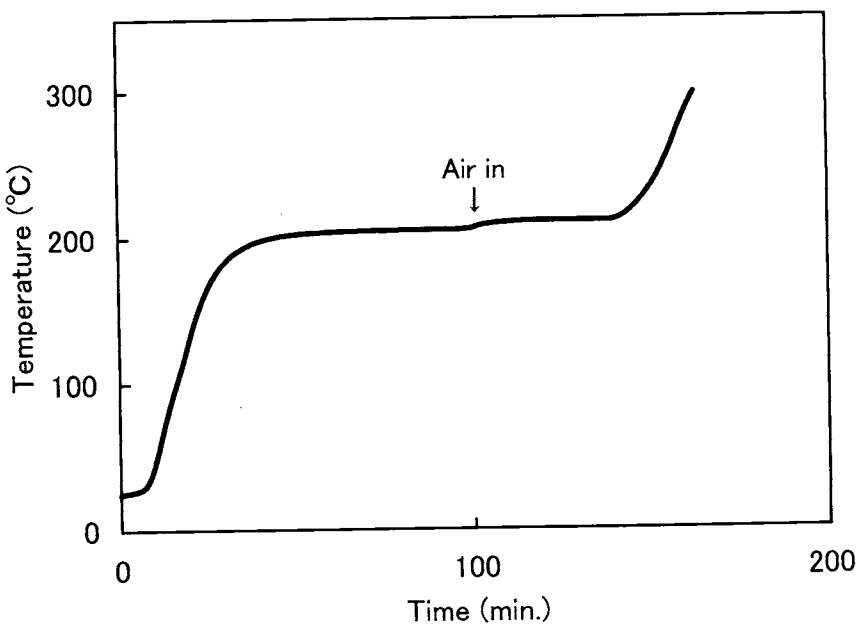

Figure 3.3.9 SIT curve of meat bone meal (Test temperature 210°C)

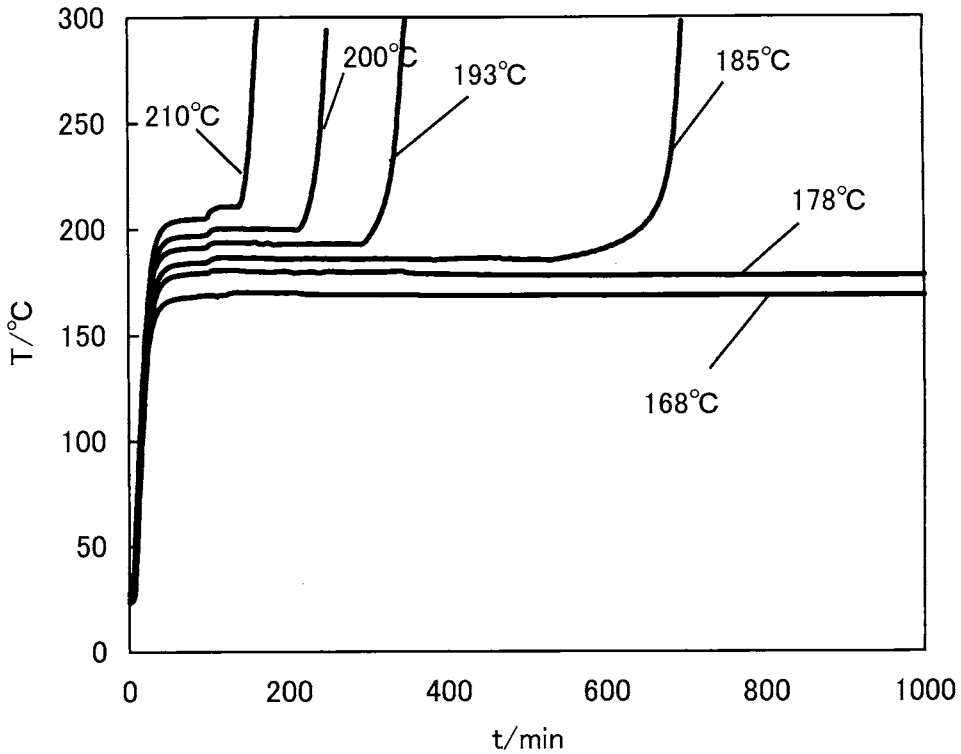

Figure 3.3.10 SIT cureves for meat bone

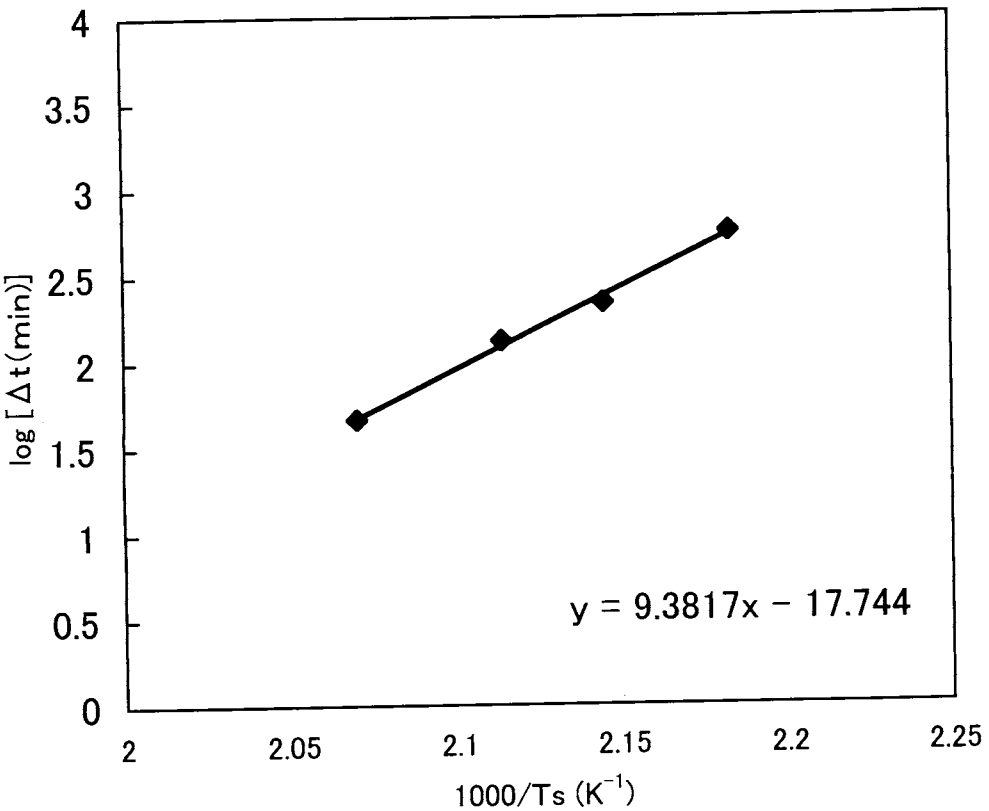

Figure 3.3.11 The relationship btween the logarithm of the induction period and 1/Ts for meat bone meal

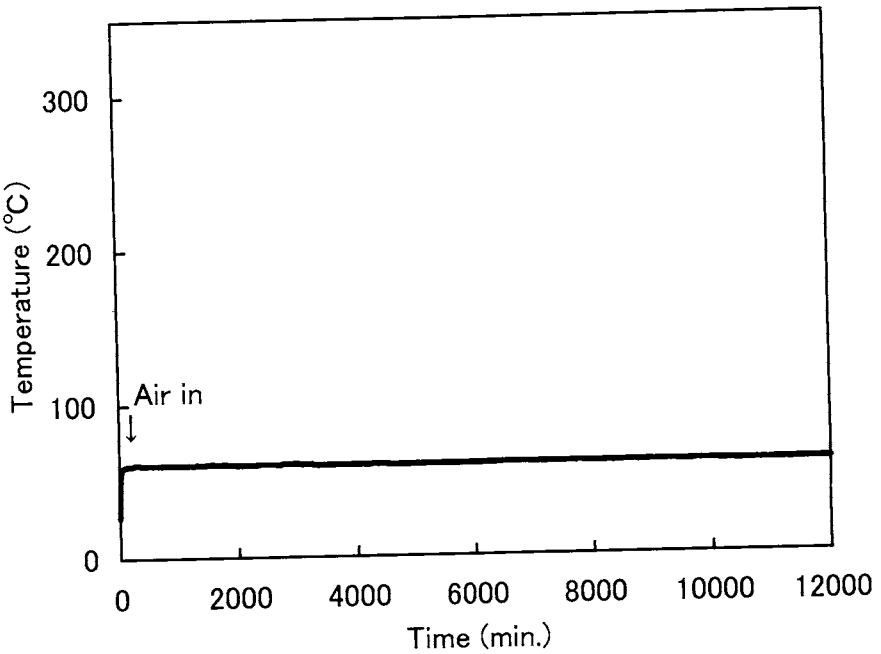

Figure 3.3.12 SIT curve of fried food lees
(Test temperature 61°C)

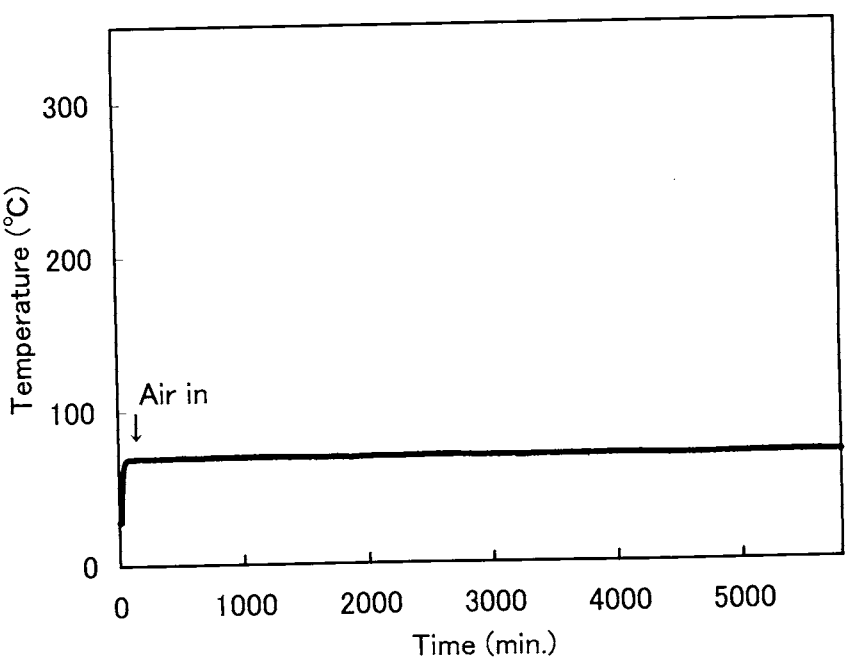

Figure 3.3.13 SIT curve of fried food lees
(Test temperature 70°C)

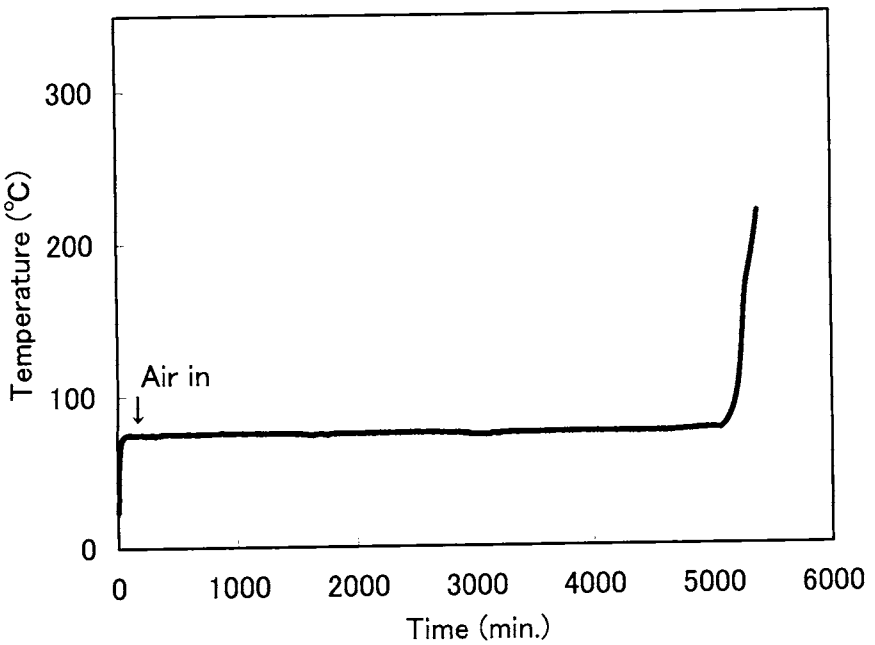

Figure 3.3.14 SIT curve of fried food lees
(Test temperature 75°C)

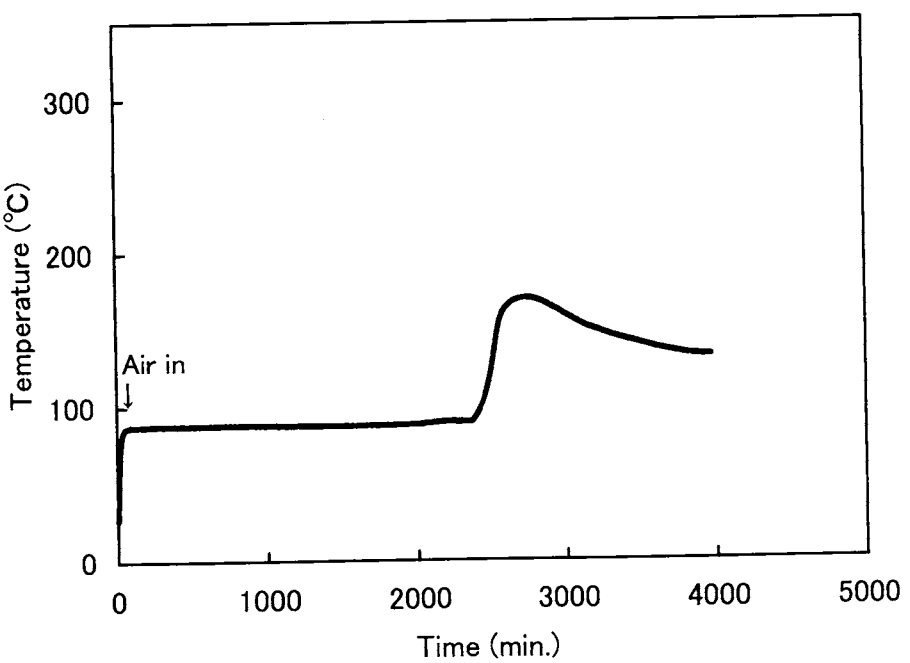

Figure 3.3.15 SIT curve of fried food lees
(Test temperature 88°C)

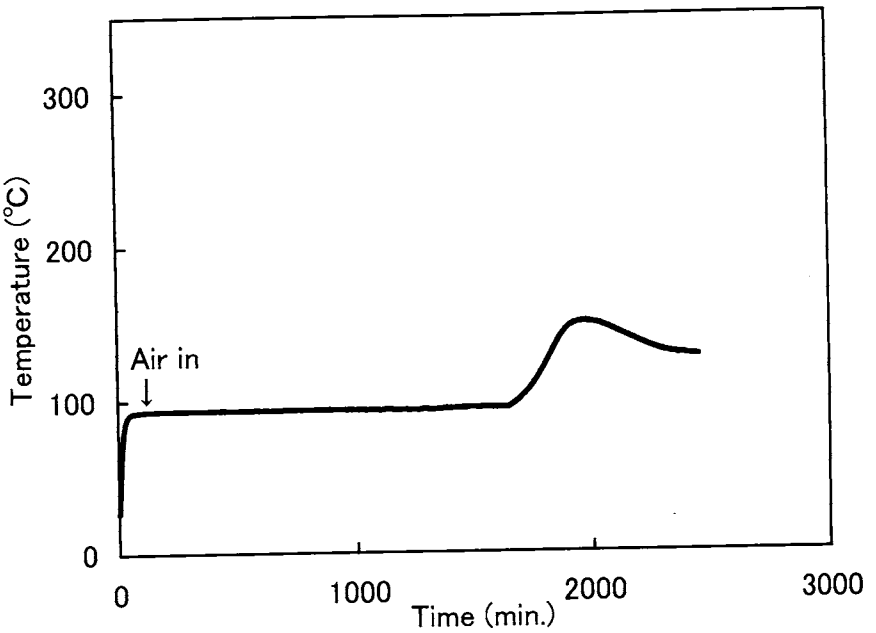

Figure 3.3.16 SIT curve of fried food lees (Test temperature 93°C)

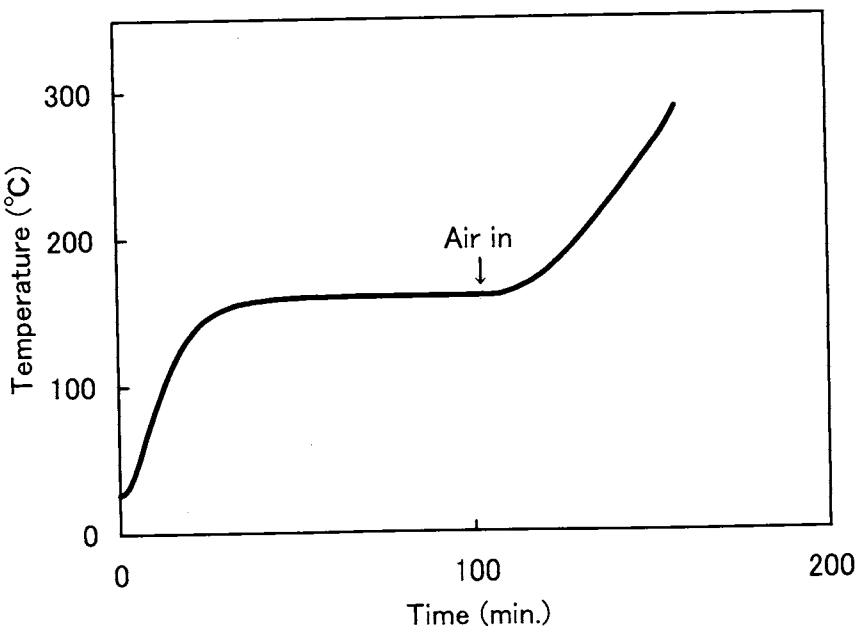

Figure 3.3.17 SIT curve of fried food lees (Test temperature 160°C)

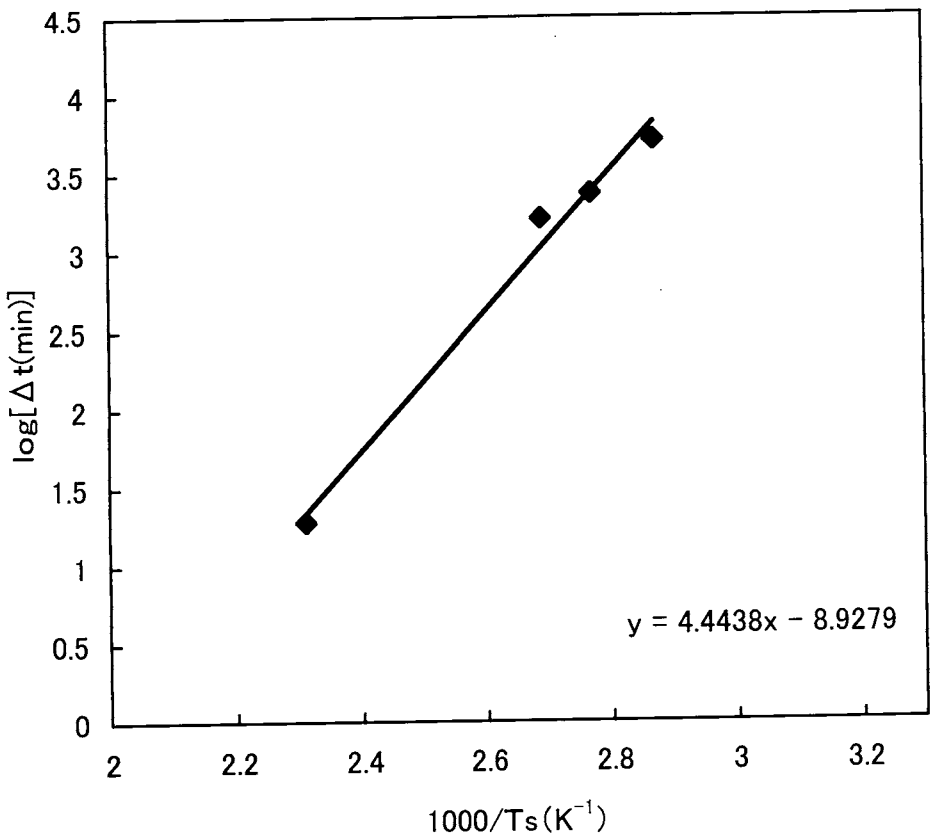

Figure 3.3.18 The relationship btween the logarithm of the induction period and 1/Ts for fried food lees

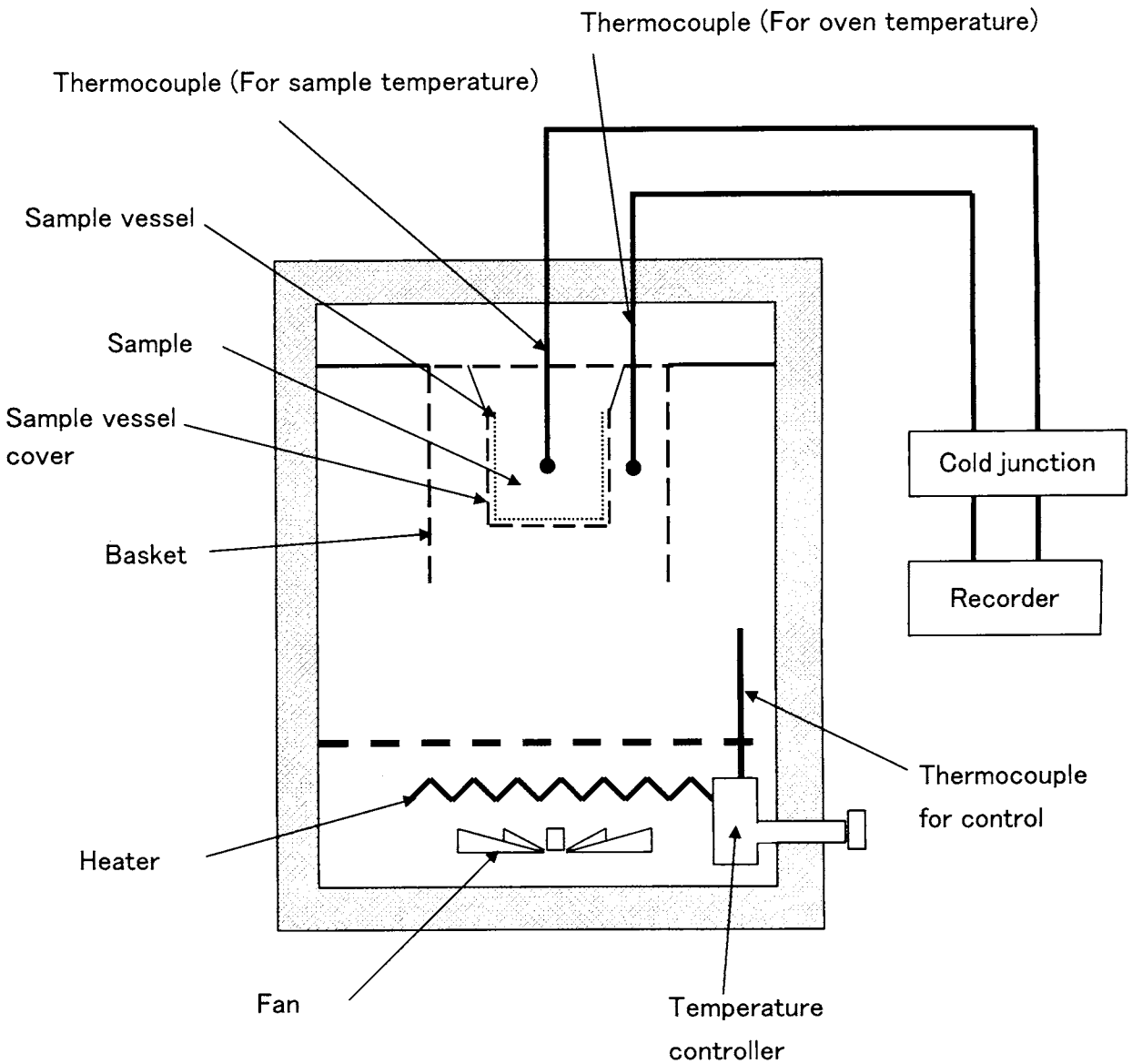

Figure 3.4.1 Wire basket test

Figure 3.4.2 Wire basket test
(Sample vessel: Basket hanging situation)

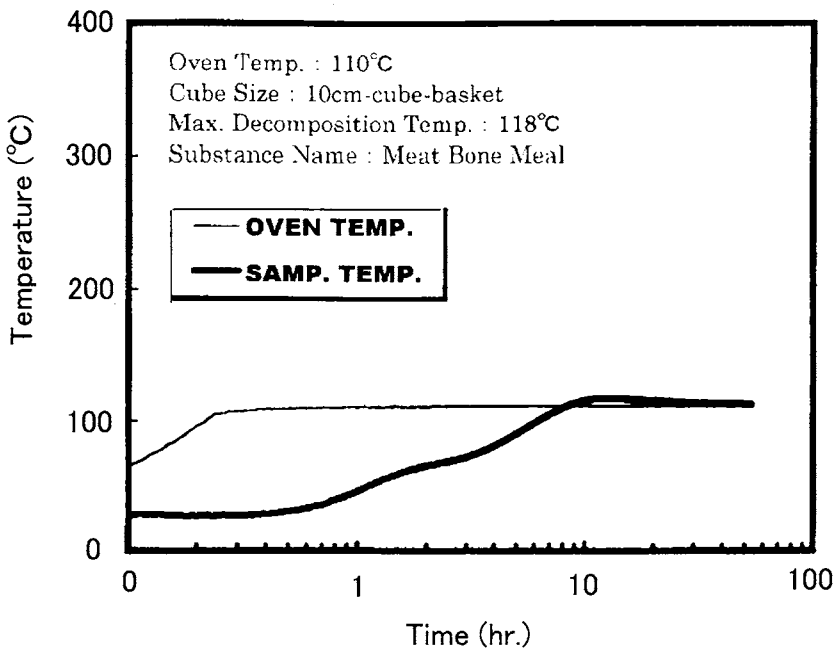

Figure 3.4.3 Self Heating Test Time-Temp.Chart (110°C)

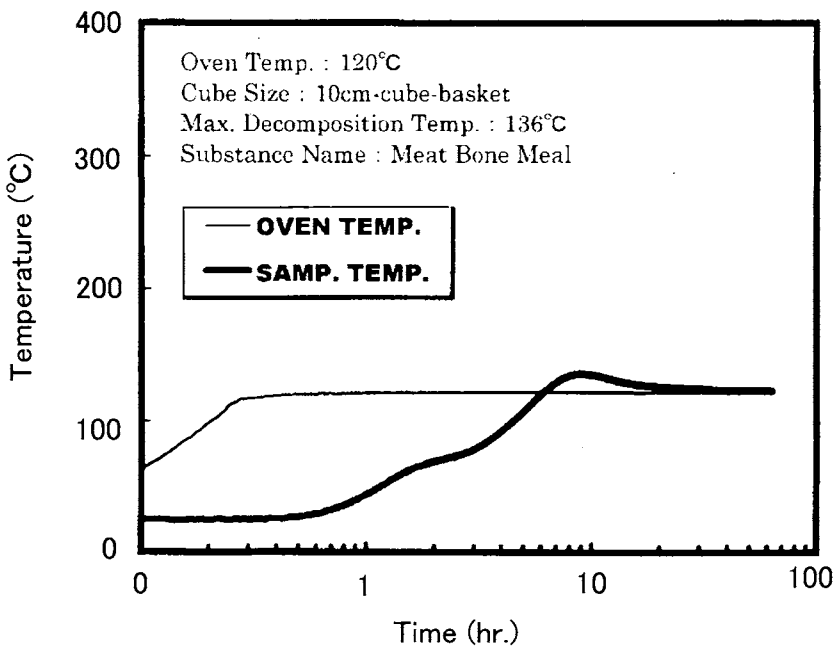

Figure 3.4.4 Self Heating Test Time-Temp.Chart (120°C)

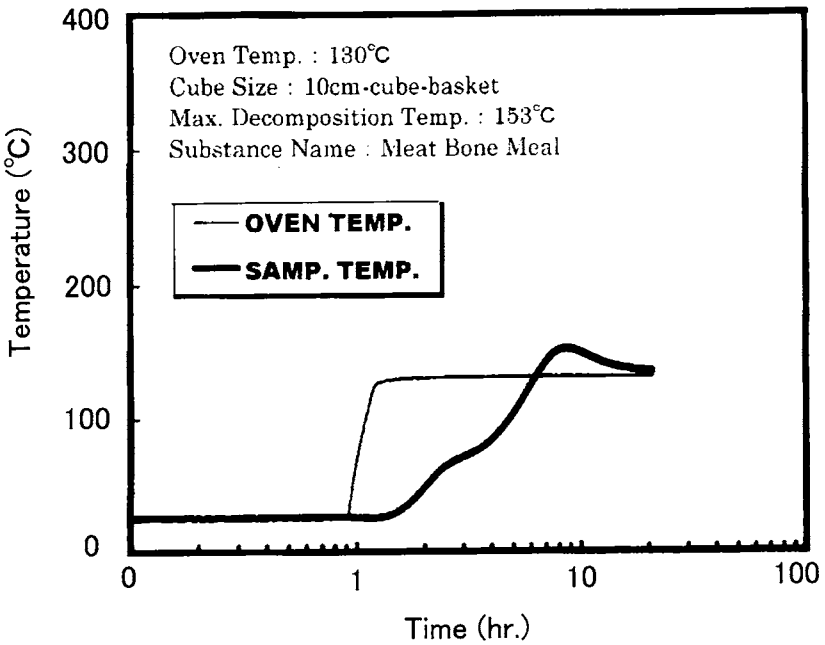

Figure 3.4.5 Self Heating Test Time-Temp.Chart (130℃)

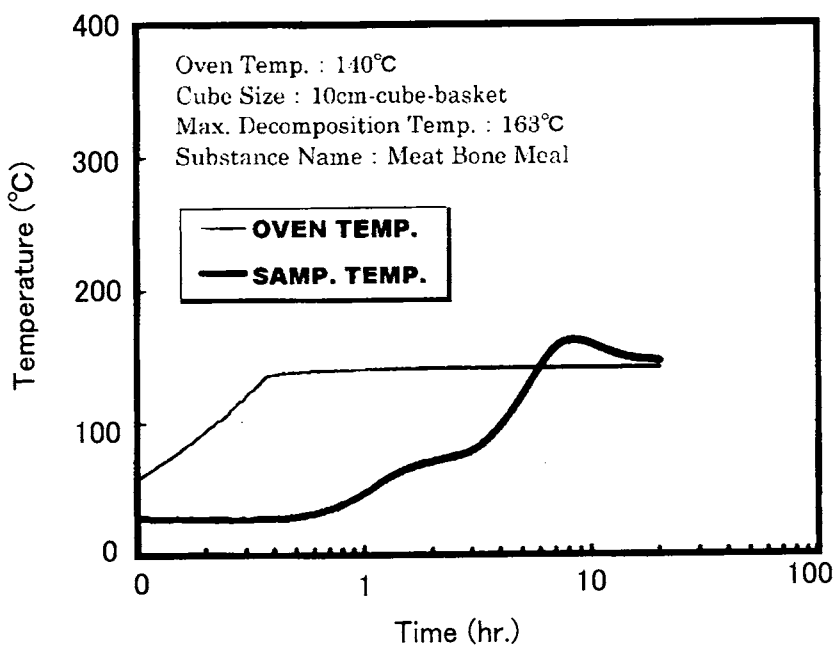

Figure 3.4.6 Self Heating Test Time-Temp.Chart (140℃)

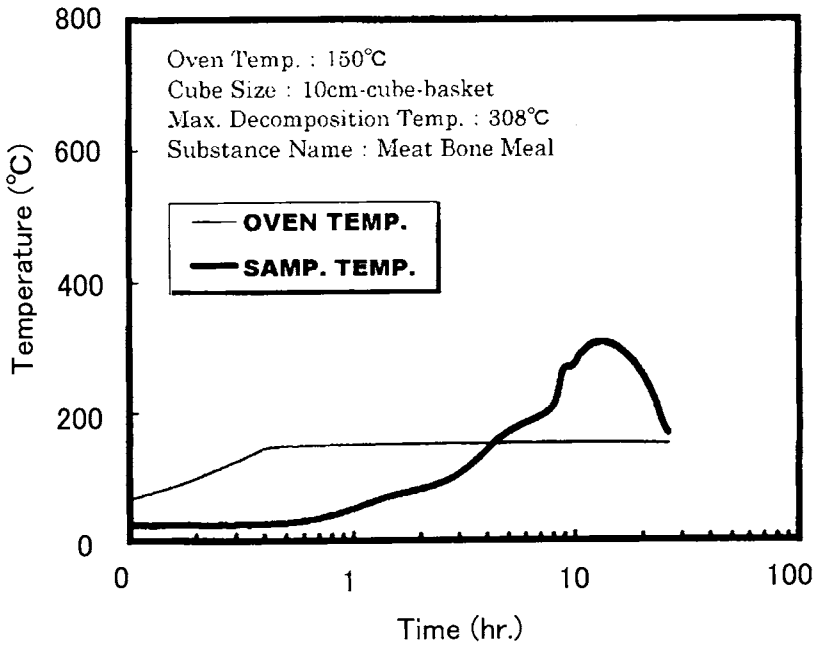

Figure 3.4.7 Self Heating Test Time-Temp.Chart (150℃)

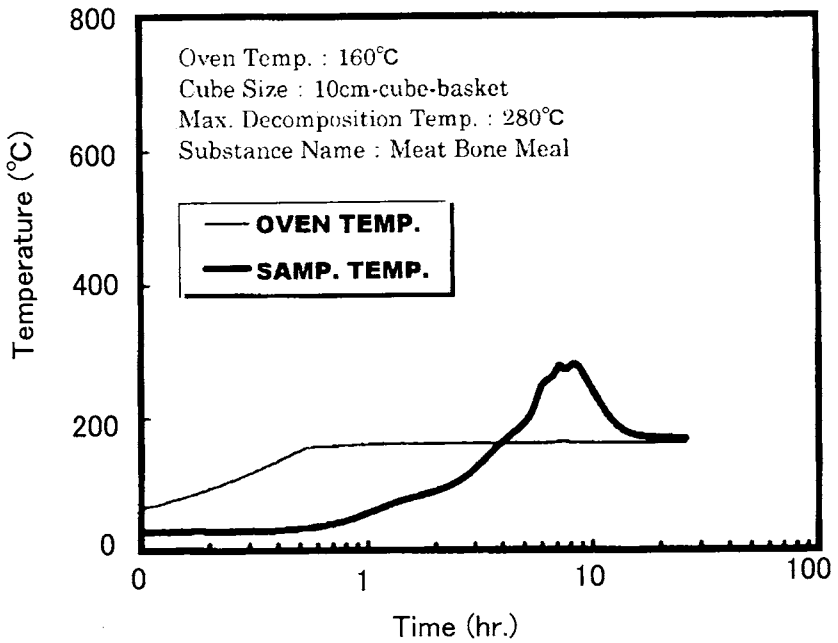

Figure 3.4.8 Self Heating Test Time-Temp.Chart (160℃)

Figure 3.4.9 Wire basket test
(After test:110℃)

Figure 3.4.10 Wire basket test
(After test:120℃)

Figure 3.4.11 Wire basket test
(After test:130℃)

Figure 3.4.12 Wire basket test
(After test:140℃)

Figure 3.4.13 Wire basket test
(After test:150℃)

Figure 3.4.14 Wire basket test
(After test:160℃)

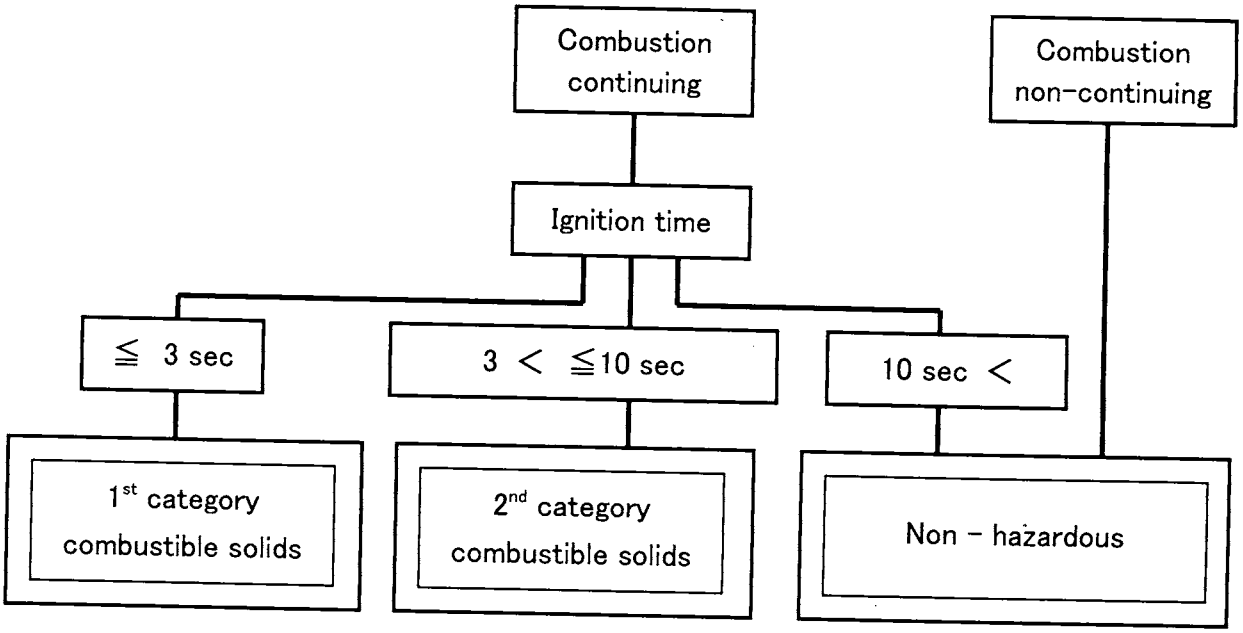

Figure 3.5.1 Judgment flow of small gas flame test

Figure 3.5.2　Small gas flame ignition test (Contact of flame)

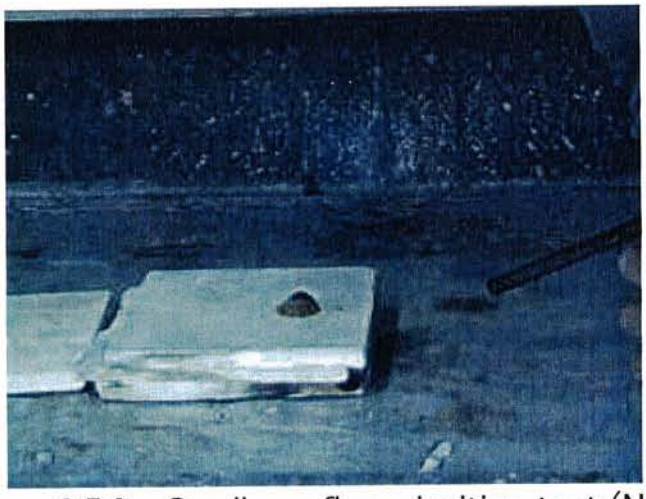

Figure 3.5.3　Small gas flame ignition test (Non-ignition)

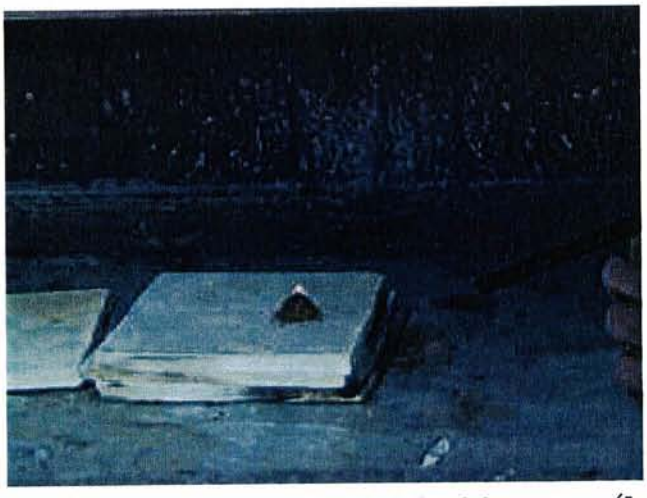

Figure 3.5.4　Small gas flame ignition test (Ignition)

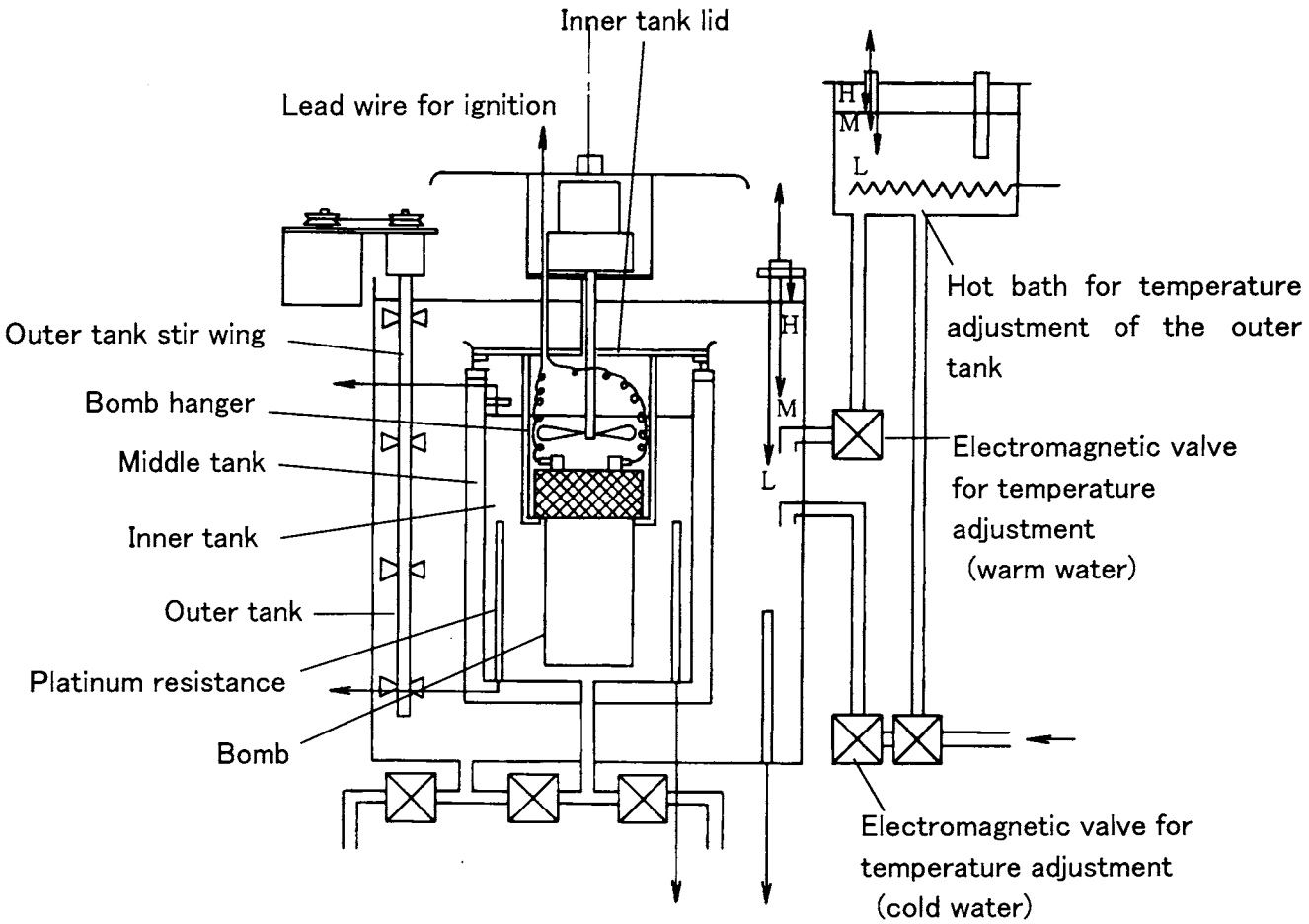

Figure 3.6.1 Automatic bomb calorimeter (outline)

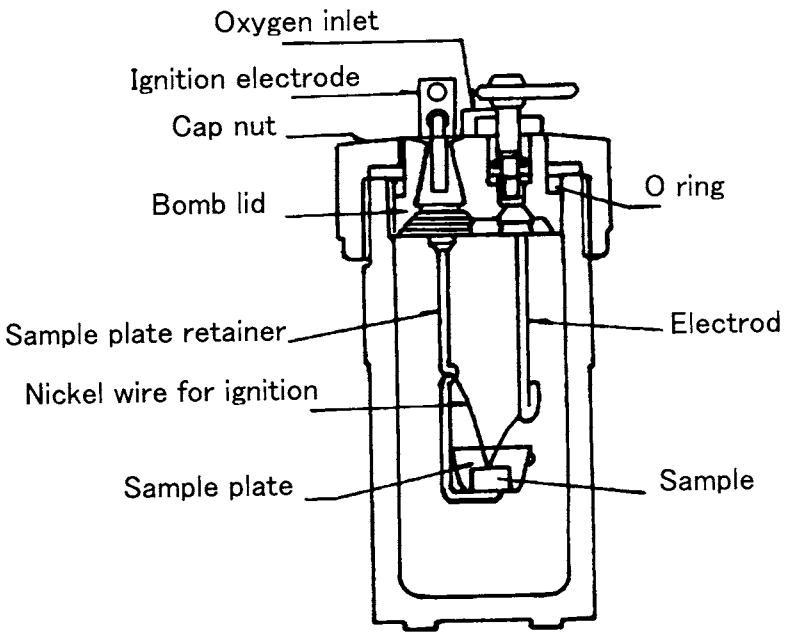

Figure 3.6.2 Bomb structure

資　料

(1) 火災事例１（鹿児島市）

火災事例２（宇都宮市）

(2) 関連する情報

１消防庁通達等

２農林水産省通達

火災事例１（鹿児市）

１．火災の発生日時等

発　生：平成１３年１２月３日（月）５時２７分頃（早朝）

覚　知：平成１３年１２月３日（月）５時３５分

鎮　火：平成１３年１２月３日（月）５時５５分

２．天候等

天候：快晴、気温：10℃

３．火災発生場所

鹿児島県鹿児島市　鉄骨平屋建て倉庫

４．火災発生場所の状況

肉骨粉が社会的事情で３ヶ月間出荷停止となっていたため、通常より多く倉庫内に貯蔵されていた。肉骨粉はトランスバッグと呼ばれる化学繊維で編んだ袋に入れられていた。トランスバッグは2種類の大きさのもの（直径1m×高さ1mおよび縦1m×横1m×高さ1m）があり、約500 kgの肉骨粉を詰めていた。倉庫内に約2,000袋のトランスバッグが貯蔵されていたことから、約1000トンの肉骨粉が倉庫に貯蔵されていたと考えられる。

５．火災の状況

堆積した肉骨粉の表面の半分程度が燃えていた。堆積した肉骨粉内部は、水が浸透した所以外、燃えていなかった。火災時に煙は出たのに対して、火炎はあまりで出ていなかった。倉庫の床に焼け跡(20 cm×40 cm)が残っており。その上が屋根の雨漏り部分であった。消防隊が放水を開始すると約15分間で鎮火し、その後残火処理を行った。人的被害は無かった。

６．被害状況

人的被害：無し。

物的被害：約1,241㎡（倉庫内）。

７．火災原因

製造直後の肉骨粉は倉庫内に搬入されないため、肉骨粉製造後の余熱によって酸化反応が進行して肉骨粉が自然発火したものでないと考えられる。

スレートぶきの屋根に亀裂があり、火災前から雨漏りがしていた。肉骨粉を収納していたトランスバッグは化学繊維を編んだ素材で、水を通す。肉骨粉中の水が浸透していた部分が発酵し、発酵熱が蓄熱して自然発火したと推定される。水が浸透していた部分が最も炭化していた。

火災事例２（宇都宮市）

１．発生日時等

発　生：平成１４年９月２２日（日）　１９時４５分

覚　知：平成１４年９月２２日（日）　２０時０８分

鎮　火：平成１４年９月２２日（日）　２１時０６分

２．天候等

天候：雨（降水量4 mm）、気温：18℃

３．火災発生場所

栃木県宇都宮市　鉄骨造２階建倉庫

４．火災発生場所の状況

平成１３年１０月頃から円柱型のビニール製トランスバッグ（直径１ｍ×高さ１ｍ、約800 kgから1,000 kg入り）に肉骨粉を収納していた。トランスバッグを３～５段に立て積みして、1,560tの肉骨粉を倉庫内に保管していた。（写真１～６）

５．火災の状況

出火地点は、倉庫の奥の方にあったトランスバッグからである。肉骨粉を収納したトランスバッグが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。人的被害は無かった。

６．被害状況

人的被害：無し。

物的被害：保管してあった肉骨粉1,560tのうち約470tを焼失。

建物内部の壁が損傷し、天井のベニヤが焼け落ちた。

７．火災原因

肉骨粉が保管されていた倉庫は従前作業場として使用されていた古い建物であり、雨漏りが発生していた。このため、肉骨粉の湿度が高くなり、発酵によって発生した発酵熱が蓄熱して自然発火したと推定される。

出火元と考えられるトランスバッグはおよそ1年前に搬入されたものである。つまり、肉骨粉の中でも古いものが燃えたことになる。肉骨粉の製造工場も倉庫から約3km離れて所にあり、さらに、製造された肉骨粉を冷ます工程も入れていたことから、搬入した肉骨粉の温度が高いまま保管されて酸化熱が蓄熱して発火したものではない。また、倉庫のカギがかかって内部が密室であったことから放火の可能性は低い。

以上のことから、発酵により発酵熱が蓄熱し自然発火したと推定される。発酵のためには水分が必要であるが、外部からの水分の供給源として、空気中の水分（湿度）または雨漏りが考えられる。倉庫の雨漏りに関して、過去に修理したが、完全に修理されたかは未確認であった。

写真１　肉骨粉を入れたトランスバッグ

写真２　燃え残った肉骨粉の様子（写真中央付近）

写真３　火災後の倉庫内の様子（１）

写真４　火災後の倉庫内の様子（２）

写真５　火災後の倉庫内の様子（３）（撤去作業中の様子）

写真６　火災後の倉庫内の天井の様子（天井の空隙は火災によってできたもの）

消防庁通達等

肉骨粉の保管について

平成14年8月12日　　消防予第237号
各都道府県消防主管部長あて　　消防庁予防課長

今般、農林水産省生産局畜産部食肉鶏卵課長から、別添1のとおり消防庁に対し、肉骨粉の保管に関して協力要請がありました。

保管されている肉骨粉は、別添2のとおり、温度が蓄熱により上昇し、発火する可能性があることが、独立行政法人消防研究所の実験でも確認されたところです。

これを踏まえ、農林水産省においては、別添1の別添写しのとおり、都道府県農林水産部長及び社団法人日本畜産副産物協会会長に対して、肉骨粉の保管に関し通知したところですが、この中で、都道府県内に存する肉骨粉の保管場所に関する情報について、火災予防の観点から、畜産主管部局から消防主管部局に対し情報提供を行うこととされており、消防庁に対してもかかる情報提供があつた場合の協力が要請されました。

貴職におかれましては、畜産主幹部局と連携を図り、消防機関において保管場所の把握等火災予防上必要な対応がなされるよう、関係する消防機関に対し、この旨周知されるとともに、保管場所の所在に関する情報の提供方よろしくお願いします。

[別添1]

肉骨粉の保管にかかる留意点について

平成14年8月12日　　14生畜第2789号
消防長予防課長あて　　農林水産省生産局畜産部食肉鶏卵課長

このことについて、別添写しのとおり貴都道府県農林水産部長及び社団法人日本畜産副産物協会会長あてに通知したので、各都道府県畜産主務部局から肉骨粉の保管場所について各都道府県消防主管部局に対して情報提供があった場合の協力について、都道府県消防主管部局への周知につき特段のご配慮をお願いいたします。

（別添写し）

肉骨粉の保管にかかる留意点について

平成14年8月12日　　14生畜第2489号
各都道府県農林水産部長あて
社団法人日本畜産副産物協会会長あて
農林水産省生産局畜産部長

今般、我が国においてもBSEが発生し、その感染源として肉骨粉が疑われ、肉骨粉によ

るBSE伝達を遮断するため、飼料等として利用されてきた肉骨粉を焼却処分しているところである。

肉骨粉はと畜場残さ等を原料として製造され、脂肪分やタンパク質を多く含んでいることから、焼却処分されるまで一時的に倉庫等で保管されるにあたって、取扱い方法等によっては油脂の酸化や微生物発酵がもたらす蓄熱等により発火する可能性が考えられる。

このようなことから、発火のおそれを防止するため、別紙の事項に留意の上、貴都道府県消防部局に保管場所の情報提供を行うとともに、適正に肉骨粉が保管されるよう化製業者への御指導、御協力をお願いする。

なお、総務省消防庁へは別添（省略）のとおり協力依頼していることを申し添える。

（別紙）

肉骨粉の蓄熱発火防止について

1　発火のメカニズム

酸化等の原因により物質自身が発熱し、その発熱量が放熱量を上回る場合には熱が内部に蓄積することにより温度が上昇し、ついには発火に至る。このような現象を蓄熱発火という。

動植物油でも高温のまま布等に吸着、堆積されたような場合には、余熱で酸化反応による発熱が進み蓄熱発火することがある。また、湿度等の条件が微生物の増殖に適した状態になった場合にも、微生物の発酵により熱が生じ、その熱が蓄熱することにより発火することがある。

肉骨粉の場合には、製造直後等の余熱のある高い温度状態で肉骨粉の袋詰め等を行った場合、袋の底辺部あるいは中央部で放熱が妨げられ、蓄熟し発火する可能性がある。

また、肉骨粉が雨などで水分を含んだ場合には、微生物にとって極めて増殖しやすい環境となる。微生物の増殖が起こると、発酵に伴い発熱が起こるが、発熱量が放熱量を上回るような条件となった場合には蓄熱による温度上昇が起こり、発火が起こる可能性がある。

2　肉骨粉の発火予防策

肉骨粉では酸化と微生物発酵を原因とする発熱により発火する可能性が考えられることから、下記のような点に留意して、保管・管理を行う必要がある.

(1) 古い肉骨粉から順に焼却を行う。

製造後の時間経過と共に内部で畜熱が起こっている可能性があること、保管状態が悪いと微生物の発生による蓄熱発火のおそれがあること、加えて害虫及び悪臭の発生防止等の観点から、古い肉骨粉から順に焼却を行う。

(2) 肉骨粉製造後すぐに袋詰めせず、常温程度まで全体を冷やしてから袋詰めする。

動植物油は取扱次第で酸化による蓄熱発火を起こす可能性がある。肉骨粉を常温程度まで冷やしてから袋詰め及び保管を行うようにし、製造後すぐの余熱による温度が高い状態で袋詰め及び保管を行わない。

(3) 高温多湿や雨漏り等が起こる場所での保管を避ける。

高湿多湿や雨漏り等により保管状態が悪いと、微生物が増殖しやすく、悪臭等の発生の原因となるばかりか、微生物発酵による蓄熱発火のおそれがある。特に、水分含量が20～30%の状態になると、微生物が極めて増殖しやすい状態となる．また、高温で保管した場合には、酸化反応が進みやすい。以上のことから、高温多湿や雨漏り等が起こる場所での保管は避ける。

(4) 肉骨粉保存用の袋はなるべく密閉する。

油脂の酸化発熱反応は酸素との結合により起こる。また、好気性発酵は発熱量が高い。したがって、酸素との結合等をなるべく避けるため密閉して保管する。

(5) 昆虫が発生しないようにする。

肉骨粉には昆虫が発生する場合がある。昆虫が肉骨粉を保存しているビニール袋に穿入孔をあけてしまうと、そこから雨水や湿気が入り、微生物の増殖の原因となるおそれもあり、悪臭発生の原因ともなることから、防虫策を行うことが必要である。また、虫が発生した袋から焼却するようにする。

3　消防防災担当部局への協力依頼

肉骨粉は、ある条件が揃うと自然発火する可能性があることから、消防防災部局に肉骨粉の保管場所の情報提供を行い、保管場所所在消防本部への連絡について協力を求める。

又、現在の保管状況について再点検を実施し、必要に応じて適切な対策を取りつつ、一層の焼却処理の促進を進めることが重要である。

（参考）

肉骨粉発火の類似例

酸化熱による発火の場合

1) 類似例

①天かすや油を拭いた調理用ペーパー、天然油脂ワックスが浸み込んだタオルからの発火

②きな粉や番茶粉からの発火

2) 発火に至る状況

熱い状態のままの天かす等や高温の油を拭いた調理ペーパーを堆積すると、酸化による発熱により発火するおそれがある。また、天然油脂ワックスが浸み込んだ布等では、常温で酸化・発熱し発火する危険がある。

このほか、きな粉（大豆の粉）や番茶粉（番茶をパック用に粉にした物）でも余熱や他からの熱により、ある一定の温度に達すると同じように熱が蓄積され、燃焼する場合がある。

このような酸化による蓄熱発火では、油脂の酸化は温度が高いほど進みやすく、油の含量が高いほど反応が起こりやすい。反応が一定レベルまで進むと、加速度的に反応が連鎖し、温度が上昇する。また、油脂中の脂肪酸の不飽和部分が酸素と結合して酸化が起こることから、不飽和脂肪酸を多く含む油脂の方が酸化し発熱しやすい等の特徴がある。

3)防止策

よく放冷し、全体の温度が下がってから処理すること。

発酵熱による発火の場合

1) 類似例

生乾き牧草のロールベールからの発火

2) 発火に至る状況

水分が 20～30%程度の生乾き牧草をロールベールした場合などでは、微生物（耐熱性放線菌等）の増殖による発酵熱で発火する場合がある。

微生物が増殖し始めると、代謝により水分が発生するので、発酵が加速度的に進む。また、温度の上昇によりさらに発酵が進み、発酵による発熱量が放熱量を上回ると蓄熱により発火温度まで上昇し、発火に至ることがある。

3) 防止策

湿らせたり、濡らしたりすることにより、水分含量 20～30%の微生物が増殖しやすい状態にしないこと(保管に当たっては、微生物が増殖しないよう、水分 14%以下とするか、密封して水分 40%以上とすることが基本となる)。

また、好気性発酵は発熱量が大きいことから、密閉し空気を遮断して保管する.

肉骨粉の自然発火温度について

独立行政法人消防研究所において、自然発火試験装置（島津製 SIT-2）を用いて肉骨粉の酸化による自然発火温度を測定したところ、およそ 183℃で急激な発熱が見られた。このことは肉骨粉が酸化熱の蓄熱により 183℃に達すると急激に発熱し、ついには発火する恐れがあることを示すものである。しかし、肉骨粉の骨の割合の違いや空気含量等の条件の違いにより、自然発火温度は変化すると考えられることから、183℃以下であっても注意する必要がある。

[別添 2]

肉骨粉の最低自然発火温度測定結果（概要）

平成 14 年 6 月 27 日

独立行政法人消防研究所

1. 目的

肉骨粉の貯蔵保管中に発生すると予測される火災を防止するために、自然発火試験装置を用いて、肉骨粉の酸化による自然発火の可能性を調査した。

2. 実験結果の概要

自然発火試験装置（SIT-2、島津製作所製）による測定では 180℃付近より発熱反応が観測された。174℃では 4000 分（約 66.7 時間）温度を保持しても発熱は観測されず、今回の測定条件では、これ以下の温度では、発熱を観測することはなかった。従って、SIT-2

による最低自然発火温度は約 180℃と判定した。

試料：肉骨粉（鶏、豚、牛が混ざったもの。農林水産省より提供されたもの）

3. 考察及びまとめ

1) 本試験法は自然発火温度を求める簡便法で、現在も別な試験法による実験を継続中である。

2) 実験条件、試料量によっては自然発火温度は変化する。

3) 提供された肉骨粉の最低自然発火温度は天ぷらかすのそれよりも高く、天ぷらかすよりは危険性が低いといえる。

肉骨粉の保管に係る火災予防の確保について

平成14年9月27日　　事務連絡
各都道府県消防防災主管課長あて　消防庁予防課設備専門官

先般、「肉骨粉の保管について」（平成14年8月12日付け消防予第237号）により、肉骨粉の保管場所の把握等火災予防上必要な対応について通知したところですが、去る9月22日に栃木県内で肉骨粉の自然発火が原因とされる建物火災が発生しましたので、参考として情報を提供します（省略）。

貴職におかれましては、貴都道府県内の各消防機関に周知されるとともに、肉骨粉に係る火災の予防について、畜産主管部局とも連携して、その徹底を図るようお願いいたします。

［別紙］

肉骨粉倉庫火災概要（省略）

農林水産省の通達（１４生畜第２４８９号）「肉骨粉の保管にかかる留意点について」の概要

肉骨粉はと畜場残さ等を原料として製造され、脂肪分やタンパク質を多く含んでいることから、焼却処分されるまで一時的に倉庫等で保管されるにあたって、取扱方法等によっては油脂の酸化や微生物発酵がもたらす蓄熱等により発火する可能性が考えられる。そのため、肉骨粉の発火のメカニズム及び発火防止のための留意点は以下の通りである。

１．発火のメカニズム

酸化等の原因により物質自身が発熱し、その発熱量が放熱量を上回る場合には熱が内部に蓄積することにより温度が上昇し、ついには発火に至る。このような現象を蓄熱発火という。動植物油でも高温のまま布等に吸着、堆積されたような場合には、余熱で酸化反応による蓄熱が進み蓄熱発火することがある。また、湿度等の条件が微生物の増殖に適した状態になった場合にも、微生物の発酵により熱が生じ、その熱が蓄熱することにより発火することがある。

２．肉骨粉の発火予防策

肉骨粉では酸化と微生物発酵を原因とする発熱により発火する可能性が考えられることから、下記のような点に留意して、保管・管理を行う必要がある。

（１）古い肉骨粉から順に焼却を行う。

製造後の時間経過と共に内部で蓄熱が起こっている可能性があること、保管状態が悪いと微生物の発生による蓄熱発火のおそれがあること、加えて害虫及び悪臭め発生防止等の観点から、古い肉骨粉から順に焼却を行う。

（２）肉骨粉製造後すぐに袋詰めせず、常温程度まで全体を冷やしてから袋詰めする。

動植物油は取扱次第で酸化による蓄熱発火を起こす可能性がある。肉骨粉を常温程度まで冷やしてから袋詰め及び保管を行うようにし、製造後すぐの余熱による温度が高い状態で袋詰め及び保管を行わない。

（３）高温多湿や雨漏り等が起こる場所での保管を避ける。

高温多湿や雨漏り等により保管状態が悪いと、微生物が増殖しやすく、悪臭等の発生の原因となるばかりか、微生物発酵による蓄熱発火のおそれがある。特に、水分含量が20～30%の状態になると、微生物が極めて増殖しやすい状態となる。また、高温で保管した場合には、酸化反応が進みやすい。以上のことから、高温多湿や雨漏り等が起こる場所での保管は避ける。

（４）肉骨粉保存用の袋はなるべく密閉する。

油脂の酸化発熱反応は酸素との結合により起こる。また、好気性発酵は発熱量が高い。したがって、酸素との接触等をなるべく避けるため密閉して保管する。

（5）昆虫が発生しないようにする.

肉骨紛に昆虫が発生する場合がある。昆虫が肉骨粉を保存しているビニール袋に穿入孔をあけてしまうと、そこから雨水や湿気が入り、微生物の増殖の原因となるおそれもあり、悪臭発生の原因ともなることから、防虫対策を行うことが必要である。また、虫が発生した袋から焼却するようにする。

3．消防防災担当部局への協力依頼

肉骨粉は、ある条件が揃うと自然発火する可能性があることから、消防防災部局に肉骨粉の保管場所の情報提供を行い、保管場所所在消防本部への連絡について協力を求める。

また、環在の保管状況について再点検を実施し、必要に応じて適切な対策を取りつつ、一層の焼却処理の促進を進めることが重要である。

R100 本報告書の本文用紙は古紙100%（白色度70.0%）を使用しています。

消防研究所研究資料第58号

動物性飼料の自然発火に関する研究報告書

平成15年３月

独立行政法人消防研究所
東京都三鷹市中原３丁目14番１号（〒181-8633）
電　話　(0422) 44-8331(代)
ＦＡＸ　(0422) 42-7719

印刷所　株式会社　三州社

ISBN4-88391-059-8

消防研究所研究資料一覧

号数	題　　名	年月日
1	武蔵野台地における地表水および地下水の測水資料	S43. 12
2	武蔵野吉祥寺における揚水実験資料	S44. 12
3	武蔵野台地における帯水層の性状に関する調査資料	S45. 12
4	地震時における少量危険薬品の出火危険とその対策	S48. 3
5	大震火災の延焼性状に関する研究野外火災実験　概要報告	S48. 10
6	市街地火災の延焼性状等に関する研究　旧松尾鉱山廃屋火災実験報告書	S50. 7
7	四日市市大協石油タンク火災原因調査報告書	S50. 10
8	石油タンク消火実験結果報告書	S51. 3
9	呉市山林火災現場付近の小気候	S52. 3
10	主要繊維・プラスチックの延焼・熱分解時の重量減少と発生ガス	S52. 3
11	酒田市大火の延焼状況等に関する調査報告書	S52. 10
12	炭化水素系燃料による可燃性蒸気雲の爆発特性に関する研究　－ファイヤーボールに関する実験－	S53. 10
13	震害分布と表層地盤の関係に関する調査資料　－関東資料－	S55. 1
14	日本海中部地震による危険物施設の挙動に関する調査報告書	S59. 1
15	水幕と樹木の併用による延焼防止向上効果に関する研究報告書	S60. 3
16	石油タンクの底板・アニュラー板の裏面腐食に関する研究　－厚さ分布と腐食量について－	S61. 2
17	円筒貯槽のスロッシングに関する研究報告書	S61. 3
18	修復石油タンクの水張り試験時ＡＥ特性	S61. 3
19	簡易型火災警報器の非火災報に関する調査・研究	S61. 3
20	火源の輪郭抽出	S63. 3
21	林野火災の飛火延焼に関する研究	S63. 3
22	パソコンを用いた林野火災の拡大予測に関する研究	H2. 3
23	早期津波予測システムに関する資料	H3. 3
24	火災規模の防炎効果に及ぼす影響に関する研究	H3. 3
25	火災性状把握システムに関する研究　その１－非火災報データベースに関する共同研究報告書	H3. 3
26	火災性状把握システムに関する研究　その２－火災性状把握システムの試作に関する共同研究報告書	H3. 3
27	防炎物品等を含む火災における発生ガスの毒性に関する研究	H5. 3
28	火災性状把握システムに関する研究（２次）　実用化をめざしたシステムの改良に関する共同研究報告書	H5. 3
29	地下利用の特殊空間内における火災性状に関する研究報告書	H6. 3
30	大火源燃焼試験方法によるカーテンの燃焼性評価に関する研究報告書	H7. 3
31	阪神・淡路大震災における石油タンクの座屈強度に関する調査研究報告書	H8. 3
32	ISO 6941による収縮性、溶融性繊維の燃焼性評価に関する研究報告書	H8. 3
33	平成５年８月６日鹿児島豪雨災害時における鹿児島市民の災害時の行動に関する調査報告書	H8. 3
34	火災性状把握避難誘導システムに関する研究（その１　試作システムの概要）	H8. 3
35	火災性状把握避難誘導システムに関する研究（その２　試作システムのソフトリスト）	H8. 3
36	地下施設における火災の特性に関する研究報告書	H9. 3
37	コーンカロリメーターによる防炎材料の燃焼性状に関する研究報告書	H9. 3
38	地下施設における火災の特性に関する研究報告書	H9. 3
39	少量水による大火災の延焼阻止技術の開発に関する研究報告書	H9. 12
40	被害情報の早期収集システムに関する研究	H10. 3

消防研究所研究資料一覧（つづき）

号数	題　　名	年月日
41	照明灯による舞台幕の着火・燃焼性状に関する実験的研究報告書	H10.　3
42	市街地火災時の空中消火による延焼阻止効果に関する研究報告書	H10.　3
43	実大規模でのカーテン類の燃焼性状に関する実験的研究報告書	H11.　3
44	大震火災時における地域防災活動拠点の安全性確保に関する研究報告書	H11.　3
45	市街地火災時における空中消火の延焼阻止効果に関する研究報告書	H11.　3
46	大規模石油タンクの延焼に関する研究報告書	H11.　9
47	プラスチックパレットの難燃化とその燃焼性に関する研究報告書	H12.　3
48	市街地火災時の空中消火による火災抑止効果に関する研究報告書	H12.　3
49	文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書（その１）	H12.　3
50	地下施設における消防活動のための加圧防排煙技術に関する研究報告書 その１　中型基本地下模型を用いた加圧防排煙実験	H13.　3
51	地下施設における消防活動のための加圧防排煙技術に関する研究報告書 その２　小型基本地下模型を用いた加圧防排煙実験	H13.　3
52	ＡＥ法による石油タンク底部の腐食モニタリング技術に関する共同研究報告書	H13.　8
53	文化財建造物等の防炎対策に関する研究報告書（その２）	H13.　9
54	煙量を減少させる添加剤を含む可燃性液体の燃焼性状に関する報告書	H14.　2
55	ＡＥ法による工水タンク底部の漏洩のモニタリング技術に関する共同研究報告書	H14.　3
56	水による固体可燃物火災の消火と延焼阻止の機構に関する研究報告書	H14.　10
57	実大規模燃焼実験による難燃杉材の燃焼性状に関する研究報告書	H14.　10
58	動物性飼料の自然発火に関する研究報告書	H15.　3