

研究内容の詳細は、それぞれの下記報告書等にまとめている。

○排気管等の高温熱面に飛散した油類の発火に関する基礎研究報告書

○高温熱面に滴下した油類の発火特性に関する研究(特別研究報告会発表要旨およびPPT)

○スクラップ火災原因のひとつとしてのリチウム電池等の発火過程の観察報告書

# 排気管等の高温熱面に飛散した油類の発火に関する基礎研究

## 1 まえがき

漏洩燃料油等が排気タービン過給機や排気管等の高温部表面に飛散、接触したことが原因と考えられる機関室火災事案の原因究明では、漏洩燃料油等の発火温度と高温面の温度の関係が重要である。しかし、発火温度は引火点のような特定の条件下ではほぼ一定の値として測定される引火点などとは異なり、加熱方法や蒸発量のみならず、周囲の気流の状況や形成混合気が滞留する空間の構造等により異なる。特に船舶機関室における火災の場合、機械の配置や配管はもとより、漏洩燃料油等が蒸発し混合気が形成される高温面付近の通風状況などが船舶によって異なるため、これによって影響を受ける発火過程の推定、再現、確認には注意を要する。

我々は、これまで種々の装置を用いて高温加熱面に滴下した油類の発火過程を調べ、高温加熱面の温度、構造、試料の滴下方法、量などが発火率に及ぼす影響等について検討を加えてきた。その研究結果の整理に当たっては、高温熱面の温度と発火の関係を中心に考察、検討してきたが、このような火災事案の発火原因の確認にあたっては、主として漏洩燃料油等の蒸発率等を左右する高温加熱面の温度とともに、その後の発火及び燃焼に至る化学反応の継続を左右する形成混合気が滞留する空間(以後「閉閉空間」と表現する)の温度状況も把握しておくことが必要と考えるに至った。

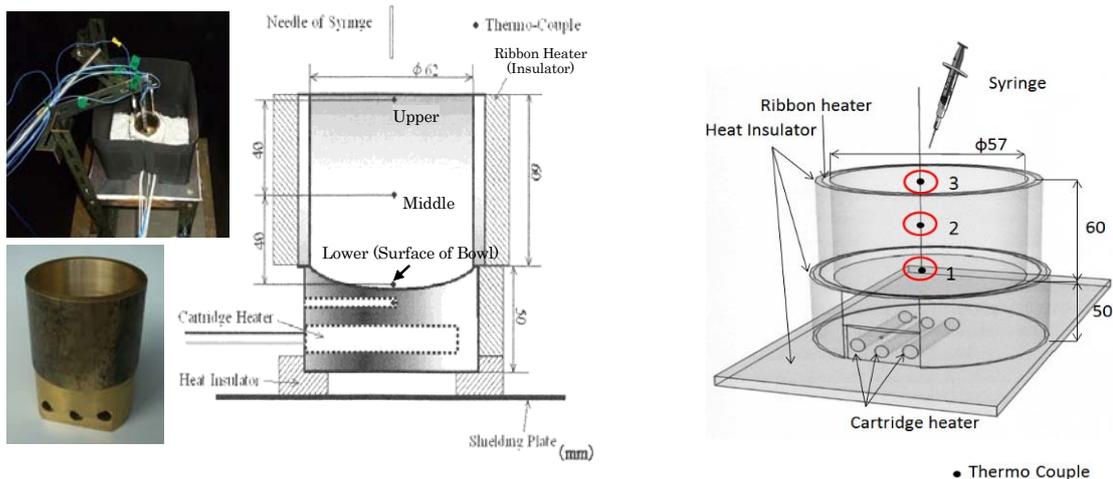
そこで、本研究では、燃料を滴下し蒸発させる高温熱面のほかに、その上方の閉閉空間の温度も制御できる装置の開発を試み、これらの温度が発火率等の発火過程に及ぼす影響などについて検討を加えたので、ここに報告する。

## 2 実験装置及び実験方法

### 2.1 実験装置

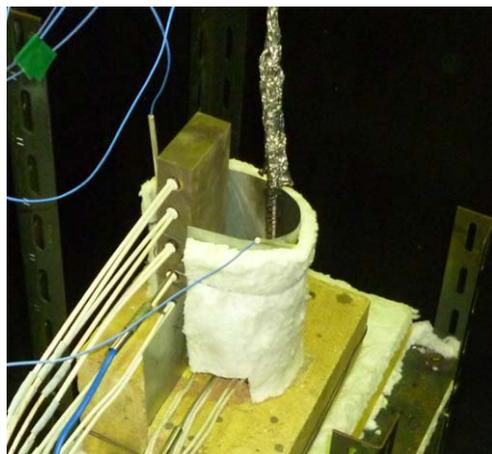
#### (1) SB-I型装置

高温面への試料油の滴下方法や滴下量が発火率に及ぼす影響等の調査については、これまでの研究成果との比較を行うことを前提に、滴下面のみに加熱装置を組み込んだ従来と同様の構成の装置による実験も行った。装置構成の基本はこれまでの装置と同様であるが、加熱源をガスバーナから電気式カートリッジヒータへ変更するとともに、閉閉空間を形成する側壁からの伝導放熱をできるだけ小さくするため、保温用のヒータ等を設置した。カートリッジヒータへの変更により迅速な加熱、大きな熱容量、引火の防止等、実験関係が改善され、効率的な実験を行うことができるようになった。この装置の概略を図1に示す。試料油を滴下する面は、滴下試料の移動範囲を制御するため、浅い皿状に仕上げていることから、SB-I型(Shallow Bowl I Type)と呼ぶ。

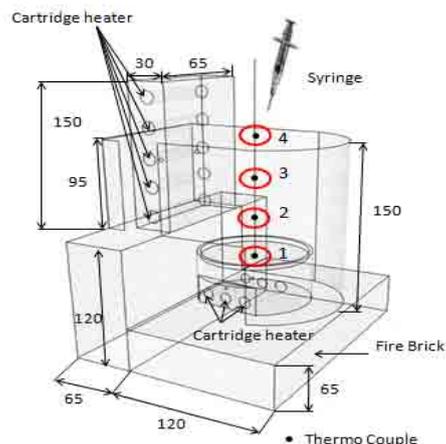


#### (2) SB-II型装置

1のまえがきでも述べたように、実験を重ねるうちに試料油を滴下する加熱面(蒸発面)の温度のみではなく、形成された試料油蒸気混合気が滞留する閉閉空間の温度も発火過程に重要な要因であると考えられた。そこでこの空間の雰囲気蒸発面とは別に加熱できるよう装置を改良し、閉閉空間の側面を加熱壁とした。装置外観等を図2に示す。この装置をSB-II型(Shallow Bowl II Type)と呼ぶ。



(a) 装置外観



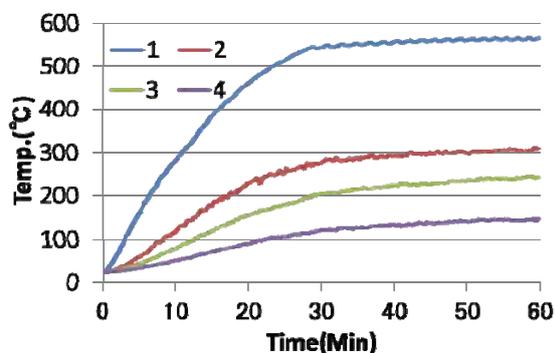
(b) 熱電対の配置

図2 SB-II型装置の概要

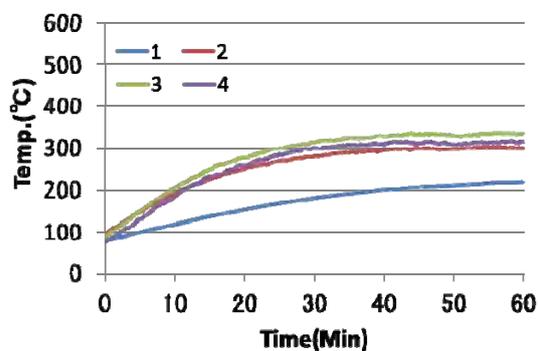
### (3) 昇温特性

実験に先立ち、装置の昇温特性を確認した。図1および図2に示すように、それぞれの装置には蒸発面から閉空間上端までを等分し、ほぼ中心線上に熱電対(0.2mmφテフロン被覆クロメル・アルメル熱電対(K type))を複数配置した。これらの熱電対の位置は、図1および図2に示すように蒸発面上のものを番号1として表示する。SB-II型の加熱時の昇温状況を図3に示す。加熱壁を有しないSB-I型の閉空間内の昇温特性は、熱電対の配置は異なるが、同図(a)と同様の状況を示す。

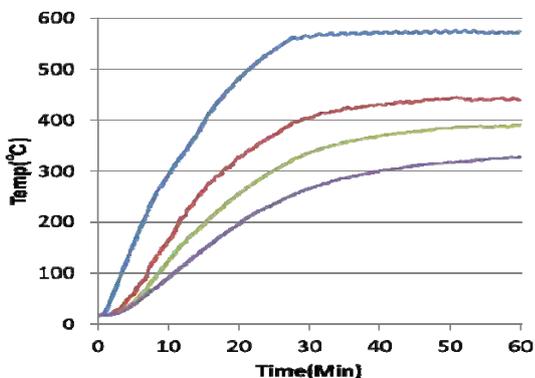
図3(b)に示すように、加熱壁により閉空間温度を一様に300°C程度まで上昇させることができ、同図(c)に示すように蒸発面と加熱壁による加熱を併用することにより、閉空間の温度を300°Cを超える状態で設定することが可能となった。



(a) 蒸発面のみによる加熱の場合



(b) 加熱壁のみによる加熱の場合



(c) 蒸発面および加熱壁による加熱の場合

図3 SB-II型の昇温特性

## 2.2 実験方法

蒸発面および加熱壁それぞれのカートリッジヒータの温度調節器を操作することにより、所定の蒸発面温度と閉囲空間温度の組み合わせを得る。基本的には蒸発面温度を所定の温度に設定したのち、加熱壁の温度を上昇させながら順次各組合せ条件を得、その都度、シリンジを用いて試料油を加熱皿表面に滴下し、発火、非発火の別、発火に至る過程の観察等を行った。

試料油としては、表 1 に示す性状の軽油を用いた。滴下方法および滴下量によっても混合気の形成状況が変化することから、滴下方法については図 4 に示す分散型(NC:Non-Centralize Type)と集中型(C:Centralize Type)について実験を行い、その結果を比較検討しながら考察を進めた。滴下量については、0.05、0.10、0.20、0.30、0.40、0.50cm<sup>3</sup> について実験を行った。なお、発火、非発火にかかわらず、1 回の試料の滴下実験の都度、容器内を圧縮空気で清浄、換気し、燃焼残渣や燃焼ガスの影響を排除した。

表 1 試料油の性状

試料		軽油
比重(15/4℃)		0.830
引火点 PM式(℃)		70.0
動粘度(@30℃) mm <sup>2</sup> /s		3.44
蒸留性状流出温度(℃)	90%	312.0
流動点(℃)		-15.0
セタン指数		53.5



(a) 分散型(NC:Non-Centralize Type)



(b) 集中型(C:Centralize Type)

図 4 滴下方法

## 3 実験結果および考察

### 3.1 SB-I 型装置による実験結果

#### (1) 滴下方法による発火・燃焼状況の差異

図 5 に SB-I 型装置において、集中型で滴下したときの発火過程を示す。多量の試料油蒸気が形成されているが、発火は閉囲空間の上縁付近で予混合火炎を伴いながら起こっている。蒸発面で形成された試料油蒸気が加熱されながら上昇し、上縁付近でちょうど発火に適した濃度になったものと推測される。

図 6 に滴下方法による発火、燃焼状況の違いを示す。上段は滴下方法を分散型とした場合で、下段は集中型とした場合である。いずれも蒸発面(図中では加熱皿表面温度と表記)温度は 340℃であるが、滴下量は分散型が 0.05cm<sup>3</sup>と、集中型の 0.5cm<sup>3</sup>の 1/10 である。図 6 のそれぞれ 3 枚の写真は、滴下後の経過時間がほぼ同様のものを比較している。0.5cm<sup>3</sup>を滴下した下段の集中型では早くから大量の燃料蒸気混合気が形成されているが、0.05cm<sup>3</sup>の滴下にとどまった上段の分散型の蒸気形成量は少ないにもかかわらず、着火はほぼ同様の経過時間で起こっており、火炎の勢いは滴下量の少ない上段の分散型の方が強い。

#### (2) 滴下方法および滴下量の発火温度に及ぼす影響

SB-I 型装置を用いて、滴下方法および滴下量の発火温度に及ぼす影響を調べた。図 7 にその結果を示す。

発火現象については、発火・非発火の状況を確率的に示すことが一般的であるが、漏えい油等の高温熱面における発火現象では遷移領域があり、確率的に発火の温度条件を確認するためにはかなりの試行回数が要求されるとともに、実験ごとのばらつきの影響を排除することが困難である。そこで本研究では火災発生に対する危険性の指標として、各実験条件における発火が確認できる最低の温度を発火温度と定義し、これを明らかにすることとした。

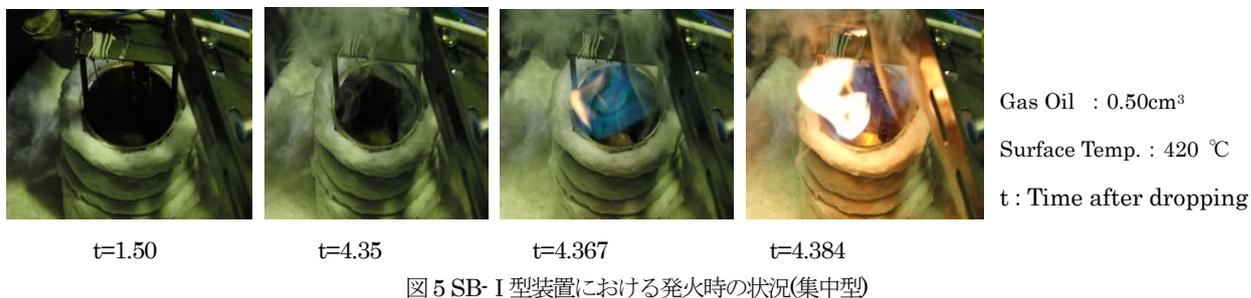


図5 SB-I型装置における発火時の状況(集中型)

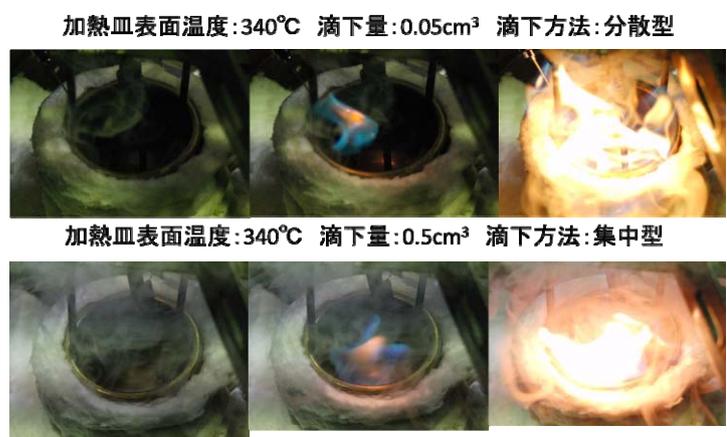
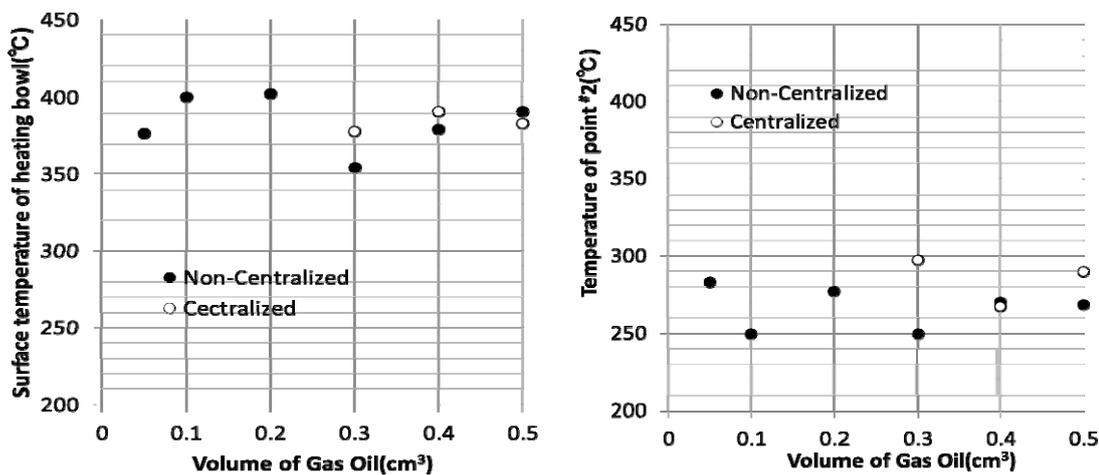


図6 滴下方法による着火・燃焼状況の差異



(a) 発火温度(蒸発面表面温度(図1(b)#1)) (b) 発火時の閉閉空間中央部温度(図1(b)#2)

図7 滴下方法および滴下量の発火温度に及ぼす影響

図7(a)は発火温度として定義した温度を示すが、同図(b)は発火が確認された時の閉閉空間内の温度として、図1(b)の熱電対#2の温度を示した。滴下方法を○のシンボルで示した集中型(C:Centralize Type)とすると、滴下量が少ない場合には発火が確認できなかった。これに対して●のシンボルで示した分散型(NC:Non-Centralize Type)の滴下方法では、滴下量が非常に少ない場合にも発火が確認できた。

これは、分散型の場合、滴下時に微粒化された試料油から速やかに蒸気が形成されるとともに、その混合気

が蒸発面付近で逸散することなく迅速に加熱され反応が進むため、少量の滴下量にも関わらず安定した発火が得られたものと考えられる。集中型の場合は、滴下量に比して蒸発面との総接触面積が少なく、また、ライデンフロスト現象の影響も相まって蒸発量が少なく、反応に適した濃度の燃料蒸気混合気の形成とその加熱が速やかに行われにくく、その前に加熱源である蒸発面から逸散しやすいためと考えられる。したがって、蒸発面温度、滴下量そして滴下方法によって決まる燃料蒸気形成速度と、形成された燃料蒸気混合気が逸散することなく可燃濃度となり、かつ、迅速に加熱され発火に至るといふ、発火に必要な蒸発面および閉囲空間の構造的な条件が存在するものと考えられる。今回用いた実験装置の構造的な条件は、 $0.3 \text{ cm}^3$  の試料油を分散型で滴下する場合との組み合わせが最適であったものと考えられる。

図 7(a)において、実験を行ったすべての滴下量で発火が確認できた分散型についてみると、相対的なものではあるが、滴下量が多い場合に比べて滴下量の少ない場合に発火を得るには蒸発面の温度が高いことが要求される。これに対し、図 7(b)をみると、発火が確認できる滴下量  $0.3 \text{ cm}^3$  の場合の蒸発面温度  $350^\circ\text{C}$  と滴下量  $0.1 \text{ cm}^3$  の場合の蒸発面温度  $400^\circ\text{C}$  の差に対し、そのときの閉囲空間の温度はいずれも  $250^\circ\text{C}$  であり、今回の実験範囲では発火が確認できる閉囲空間の最低温度である。この温度は文献等における軽油の自発火温度に近く、閉囲空間に滞留する試料油の蒸気混合気がこの温度まで加熱される条件が満たされれば発火に至るものと考えられる。

### (3) 発火に及ぼす閉囲空間温度の影響

(2)に述べたように、発火には閉囲空間の温度が重要と考えられる。図 8 は、SB-I 型装置で行った種々の実験条件での結果を蒸発面温度と閉囲空間温度との関係で整理したものである。横軸が蒸発面温度(図 1(b)#1 熱電対による測定温度)、縦軸が閉囲空間温度(図 1(b)#2 熱電対による測定温度)を示す。この結果から、閉囲空間温度が  $250^\circ\text{C}$  程度を上回れば発火に至ることが予想されたが、SB-I 型装置では蒸発面温度を比較的低温に維持した状態で閉囲空間の温度を上げることが困難であったため、装置を改良し SB-II 型装置でこの点を明らかにすることとした。

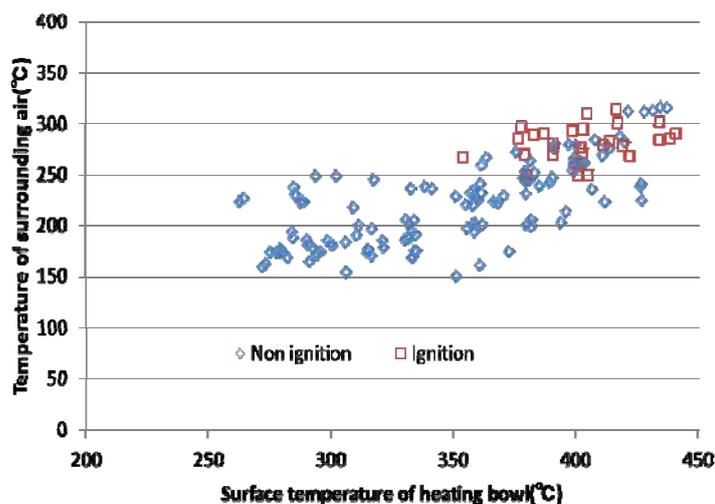


図 8 SB-I 型装置における発火温度測定結果

## 3.2 SB-II 型装置による実験結果

### (1) 発火・燃焼状況

図 9 に、SB-II 型装置における発火燃焼状況を示す。蒸発面温度が同じでも、SB-I 型装置と比較すると閉囲空間温度が高い状態で実験を行った。その結果、図 5 に示した SB-I 型装置の場合と同様の条件での発火・燃焼状況であるが、SB-I 型装置の場合と比較すると、滴下後早い段階で蒸発面付近で発火していることが確認できる。図 10 は、図 8 と同様、SB-II 型装置で行った種々の実験条件での結果を蒸発面温度と閉囲空間温度との関係で整理したものである。閉囲空間温度が  $250^\circ\text{C}$  程度を上回れば発火に至ることがある程度示されているが、蒸発面温度が  $250^\circ\text{C}$  以下の領域では試料油の蒸気は発生するものの、閉囲空間温度を  $250^\circ\text{C}$  以上に設定することができなかった。

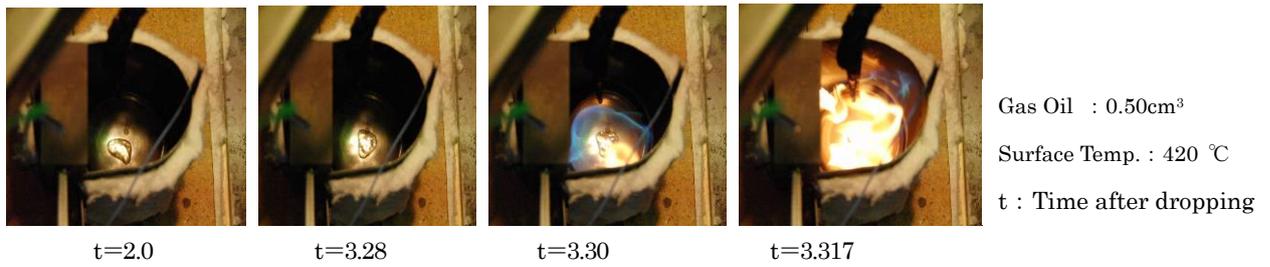


図9 SB-II型装置における発火時の状況(集中型)

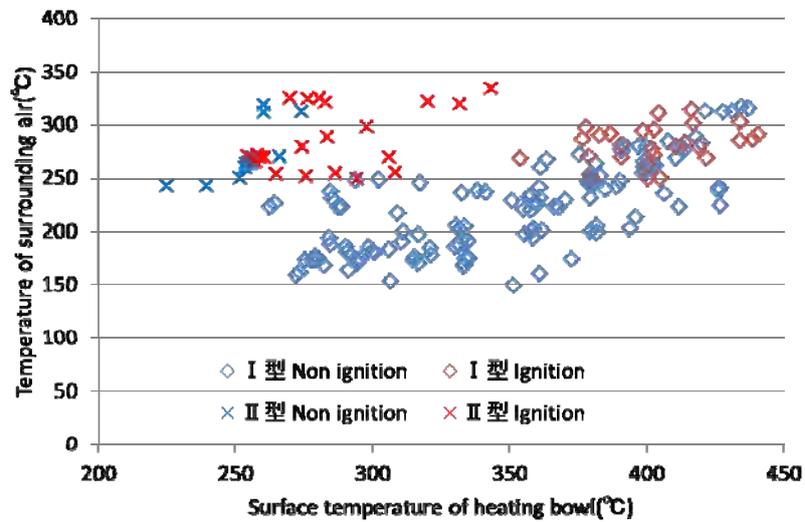


図10 SB-II型装置における発火温度測定結果

#### 4 まとめ

排気タービン過給機や排気管等の高温面に飛散したことが原因と考えられる機関室火災事案の原因究明では、漏洩燃料油等の発火温度と高温面の温度に重点を置いてきたが、形成燃料油蒸気混合気等が滞留する閉囲空間の温度状況も同様に重要であることが明らかとなった。船舶機関室における火災の場合などは、機械の配置や配管はもとより、漏洩燃料油等が蒸発し混合気形成される高温面付近の通風状況などが船舶によって異なるため、これによって影響を受ける閉囲空間の状況の推定、再現、確認には注意を要する。

# 高温熱面に滴下した油類の発火特性に関する研究

## —加熱装置および滴下方法の発火率等に及ぼす影響—

発表者 第4学年第II群 入澤 優磨  
櫻庭 隆貴

指導教官 海上安全学講座 吉田 肇 教授  
島田 伸和 教授  
岡崎 航介 講師  
仁田峠 順一 助教

### I. はじめに

漏洩燃料油等が排気タービン過給機や排気管等の高温部表面に飛散、接触したことが原因と考えられる機関室火災事案の原因究明では、漏洩燃料油等の発火温度と高温面の温度の関係が重要である。しかし、発火温度は引火点のような特定の条件下で測定される値とは大きく隔たりがあり、周囲の状況や構造等により事案ごとに異なる。特に船舶機関室における火災の場合、機械の配置や配管のみならず漏洩燃料油等が蒸発し混合気が形成される高温面付近の通風状況などが船舶によって異なるため、これによって影響を受ける発火過程の再現、確認には注意を要する。我々は、これまで種々の装置を用いて高温加熱面に滴下した油類の発火過程を調べ、高温加熱面の温度や構造や試料の滴下方法などがこれに及ぼす影響について検討を加えてきた<sup>(1)(2)</sup>。その結果、このような事案における火災原因の確認にあたっては、漏洩燃料油の蒸発率等を左右する高温加熱面の温度とともに、その後の発火及び燃焼に至る化学反応の継続を左右する閉囲空間の温度についても把握しておくことが必要と考えるに至った。そこで、空間の温度が発火過程に及ぼす影響等について検討するため、2種類の装置を用いて実験を行い、これらの点について考察したので報告する。

### II. 実験装置及び実験方法

本研究では、高温表面に付着した燃料油類の発火現象を模擬するため、高温に熱した金属容器に燃料油を滴下し、実験条件が発火の有無に与える影響を調べた。実験装置は加熱方法の違いにより2種類用い、燃焼容器の形状から浅皿型装置(以下「SB (Shallow Bowl) 型装置」という) I型、II型と名付けた。これらの装置の概要を図1及び図2に示す。装置の構造上の特徴は、次の通りである。

- (1) 以前の実験装置<sup>(2)</sup>より加熱皿表面温度の熱容量を大きくし、試料油類の蒸発および形成混合気の加熱時の加熱面温度を安定させた。
- (2) 滴下蒸発時の試料油類の移動範囲をある程度制限できるように、球面状の凹面とした。
- (3) 閉囲空間の空気流動をある程度制限できるように、側壁を設けた。I型ではパイプを、II型では鉄の薄板を用いた。
- (4) 加熱皿表面の温度と、空間等の温度も同時に計測した。温度計測には $\phi 0.2\text{mm}$  のテフロン被覆クロメル・アルメル熱電対(K type)を取り付けた。
- (5) II型では、加熱皿表面温度と空間温度を別々に制御することができるようにするため、加熱皿の上方側面にヒーターを設置した。

実験はカートリッジヒータの設定温度により加熱皿表面温度を所要の温度に安定した後、シリンジを用いて試料油を加熱皿表面に滴下し、発火に至る過程を観察した。II型装置では側面のヒーターも使い、空間の温度も所要の温度に制御した。試料には軽油を用い、滴下量は0.05、

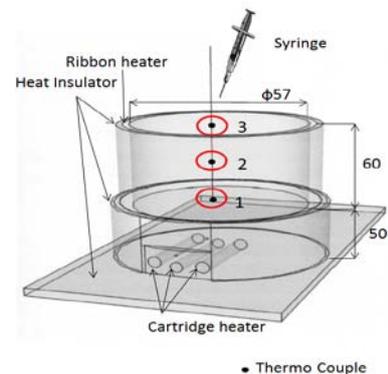


図1 SB-I型装置の概要

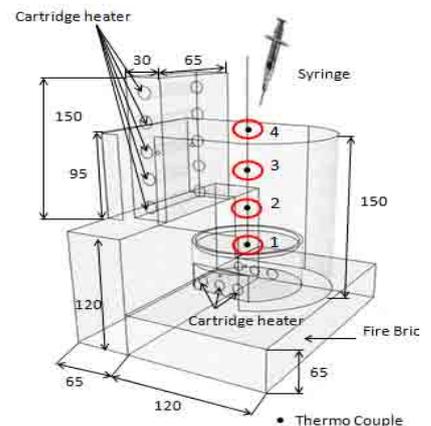


図2 SB-II型装置の概要

0.10、0.20、0.30、0.40、0.50cm<sup>3</sup>とした。なお、発火、非発火にかかわらず試料の滴下ごとに容器内を圧縮空気で清浄、換気し、燃焼残渣や燃焼ガスの影響を排除した。

### III. 実験結果

#### (1) 発火時の状況

SB 型及び SB (改) 型装置における発火時の状況をそれぞれ図 3 及び図 4 に示す。滴下量は双方とも 0.50cm<sup>3</sup> で、高温加熱面温度は 420°C である。

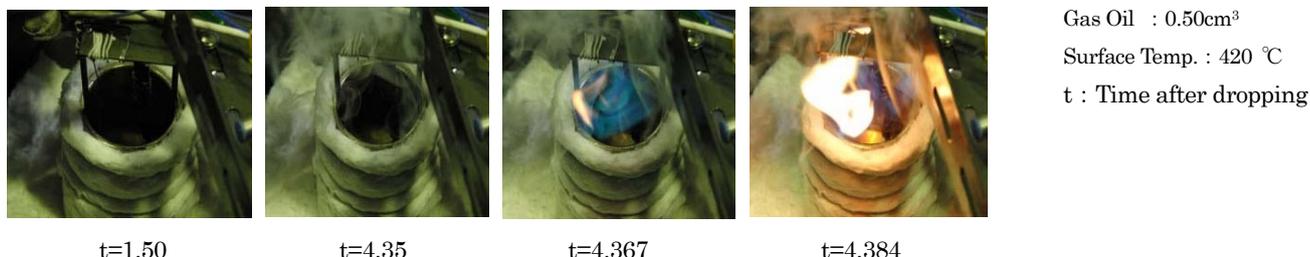


図 3 SB-I 型装置における発火時の状況

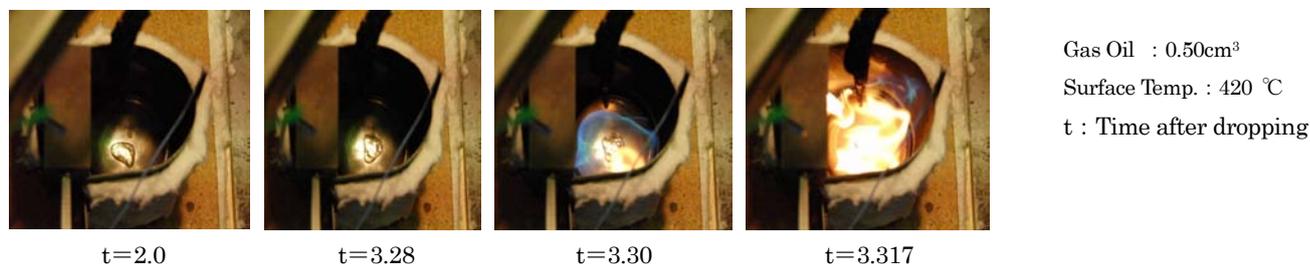


図 4 SB-II 型装置における発火時の状況

#### (2) 発火及び非発火時の温度

図 5 は、両装置における実験結果について、横軸を加熱皿表面温度とし、縦軸を空間温度として、実験ごとの発火・非発火に分け温度条件を示したものである。図より、加熱皿表面温度が 400°C を超える高温であっても、空間温度が概ね 250°C 以下の場合には発火に至らなかった。一方、加熱皿表面の温度が 250°C 程度であっても、空間の温度が 250°C 以上であれば発火を確認できた。

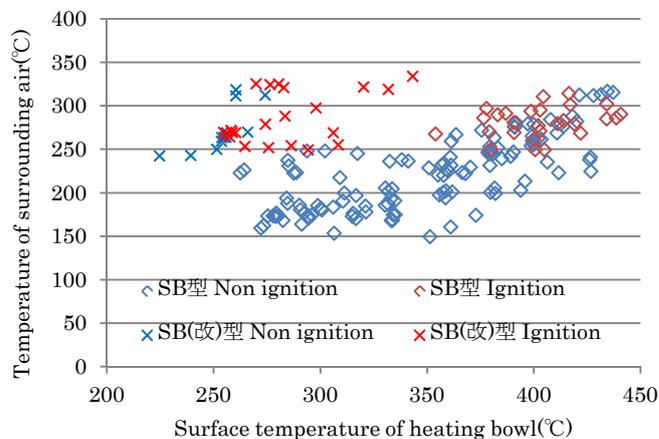


図 5 発火時の温度測定結果

### IV. まとめ

高温面に付着した燃料油の発火現象では、加熱面温度のみが重要視されがちだが、本研究において加熱皿表面から離れた空間温度も計測しつつ燃料油類の発火を確認する実験を行った結果、以下の結論を得た。

- ・ 加熱面の周囲の温度も発火に至る要因の一つであるということが確認できた。
- ・ 発火が確認されるときに空間温度は本実験の装置においては 250°C 程度であったが、この部分における温度が発火に至る過程で重要な役割を担っているものと考えられる。

### V. 参考文献

- 1) 中島・本城・小笠原・島田、第 79 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2009、5-6
- 2) 櫻庭・吉田、第 80 回マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、2010

# 高温熱面に滴下した油類の 発火特性に関する研究

—加熱装置および滴下方法の発火率等に及ぼす影響—

海上保安大学校 本科 入澤 優磨  
櫻庭 隆貴

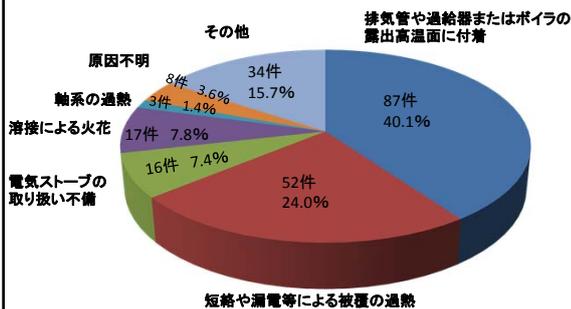
海上保安大学校  
海上安全学講座  
吉田 肇  
島田 伸和  
岡崎 航介  
仁田峠 順一

## 概要

1. 背景及び研究目的
2. 実験装置の概要及び結果
  - (1) ①SB (Shallow Bowl)- I 型装置
    - ②滴下方法
    - ③発火時の状況
    - ④滴下量別による発火確認時の温度
    - ⑤発火・非発火時の温度
  - (2) SB- II 型装置
    - ①SB- II 型装置
    - ②SB- II 型装置の昇温特性
    - ③発火時の状況
    - ④発火・非発火時の温度
    - ⑤発火率
3. まとめ

## 1. 背景及び研究目的

昭和57年から平成20年までの火災事案例 海難審判所HP等から集計



## 1. 背景及び研究目的 火災事例

件名	貨物船新かながわ丸火災事件	概要
発生日	平成19年2月16日	
場所	千葉県野島崎南西方沖合	本件火災は、航行中、機関室の移送ポンプの自動発停装置を主機及び補機用燃料油タンクへの自動運転に切り換える際、燃料油移送系統の弁開閉状態の確認が不十分で、弁切換えが行われず、同装置の切換えスイッチが操作されたのち、同ポンプが始動し、送油された燃料油が停泊補機用燃料油タンクからあふれて主機過給機付近に降りかかり、主機排気管の高温部で発火したことによって発生したものである。(全速力前進時には主機を回転数毎分350にかけ、 <b>主機の各シリンダのシリンダヘッド出口排気温度摂氏310度ないし同340度、過給機入口排気温度摂氏約450度の状態</b> )
燃料	A重油	
	船舶要目	
船名	貨物船新かながわ丸	
総トン数	199t	
全長	48.52m	
機関	過給機付4サイクル6シリンダ・ディーゼル機関	
出力	735kw	
	(1000PS)	
回転数	395rpm	

## 1. 背景及び研究目的

- 原因の究明においては、高温表面の温度を重要視
- これまでの研究では  
高温表面温度と発火の関係を調査 → 高温表面温度だけでは不十分

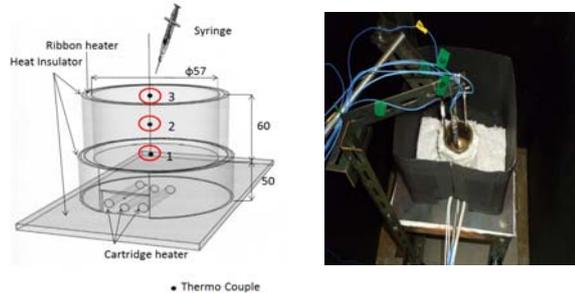
本研究の目的

2種類の加熱装置に対して2種類の滴下方法を用いて実験を行うことで、これらが発火過程に及ぼす影響等を研究する。

## 概要

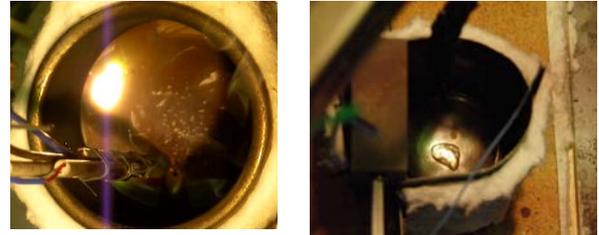
1. 背景及び研究目的
2. 実験装置の概要及び結果
  - (1) ①SB (Shallow Bowl)- I 型装置
    - ②滴下方法
    - ③発火時の状況
    - ④滴下量別による発火確認時の温度
    - ⑤発火・非発火時の温度
  - (2) SB- II 型装置
    - ①SB- II 型装置
    - ②SB- II 型装置の昇温特性
    - ③発火時の状況
    - ④発火・非発火時の温度
    - ⑤発火率
3. まとめ

2. 実験装置の概要及び結果(1)  
①SB (Shallow bowl) - I 型



2. 実験装置の概要及び結果(1)  
②滴下方法

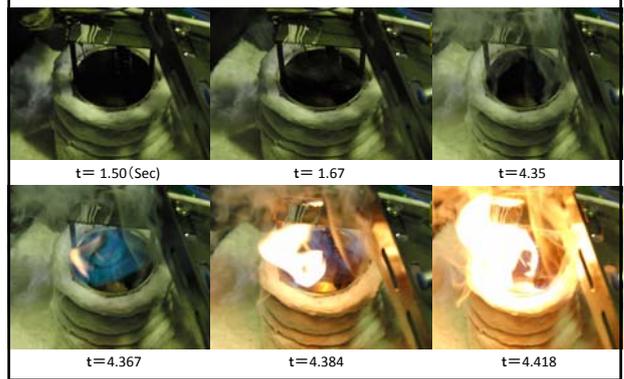
分散型 (Non-centralized)      集中型 (Centralized)



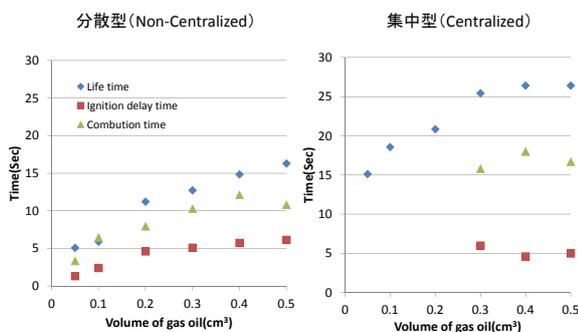
2. 実験装置の概要及び結果(1)  
③発火時の状況 加熱皿表面温度 380°C 滴下量0.5cm<sup>3</sup>



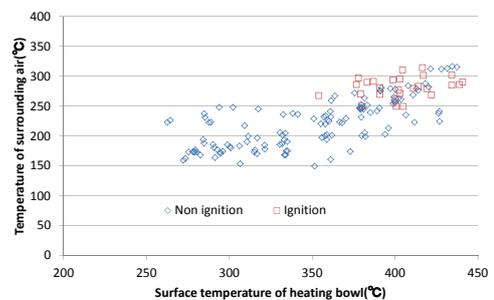
2. 実験装置の概要及び結果(1)  
③発火時の状況 加熱皿表面温度:420°C 滴下量:0.5cm<sup>3</sup>



2. 実験装置の概要及び結果(1)  
滴下方法による寿命時間等の相違

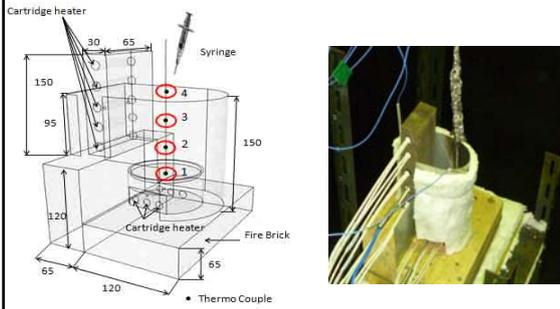


2. 実験装置の概要及び結果(1)  
④発火・非発火時の温度



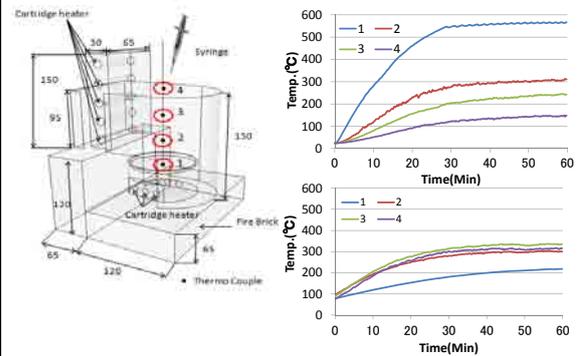
## 2. 実験装置の概要及び結果(2)

### ①SB-II型装置



## 2. 実験装置の概要及び結果(2)

### ②SB-II型装置の昇温特性



## 2. 実験装置の概要及び結果(2)

### ③発火時の状況 加熱皿表面温度 380°C 滴下量0.5cm<sup>3</sup>



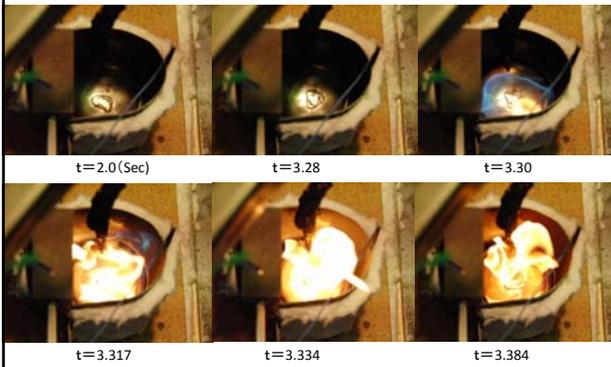
## 2. 実験装置の概要及び結果(2)

### ③発火時の状況 加熱皿表面温度 270°C 滴下量0.5cm<sup>3</sup>



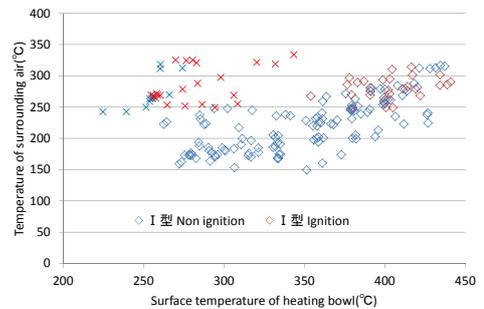
## 2. 実験装置の概要及び結果(2)

### ③発火時の状況 加熱皿表面温度:420°C 滴下量:0.5cm<sup>3</sup>



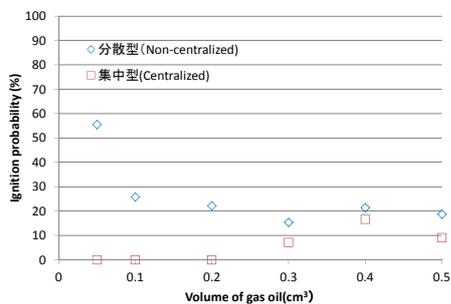
## 2. 実験装置の概要及び結果(2)

### ④発火・非発火時の温度



## 2. 実験装置の概要及び結果(2)

### ⑤発火率の相違



## 概要

1. 背景及び研究目的
2. 実験装置の概要及び結果
  - (1) ①SB (Shallow Bowl)- I 型装置
    - ②滴下方法
    - ③発火時の状況
    - ④滴下量別による発火確認時の温度
    - ⑤発火・非発火時の温度
  - (2) SB- II 型装置
    - ①SB- II 型装置
    - ②SB- II 型装置の昇温特性
    - ③発火時の状況
    - ④発火・非発火時の温度
    - ⑤発火率
3. まとめ

### 3. まとめ(1)

本研究では加熱皿表面、空間温度がともに250°C以上で発火が多く見られた。



加熱皿表面だけでなく空間の温度も発火の要因として重要であると考えられる。

### 3. まとめ(2)

分散型の方が発火率が高い。



油滴の高温加熱面との接触面積が大きいほど発火に至りやすい。



機関室火災において燃料油等が霧状に漏洩した場合のほうが危険性が高い。

ご清聴ありがとうございました。

# スクラップ火災原因のひとつとしてのリチウム電池等の発火過程の観察報告書

## 1 まえがき

スクラップを船舶で輸送する際に発生する火災(いわゆるスクラップ火災)の原因については、その混載状況から多くの原因が推定できるが、一部の研究者はリチウム電池等の圧壊が原因としている。そしてその発火メカニズムとして、リチウム電池をハンマリング装置等により瞬間的に破壊すると、絶縁破壊にともない激しい火炎をともなう爆発が生じることを挙げている。

しかし、実際のスクラップの輸送状態では衝撃的な外力が作用することは少なく、リチウム電池等の上に積載された他のスクラップによる荷重が船体動揺等により増大されることはあるものの、ほぼ静的な圧壊の状況の方が生じやすいと考えられる。

そこで我々は、実際のスクラップ等の中にみられる廃棄リチウム電池を用いて、これを圧壊する際の状況を観察し、発火源となり得る可能性について考察した。

## 2 実験装置および方法

実験に用いた装置を図1に示す。同図(a)は、質量1.7kgの鋼塊を約1m自由落下させることを利用したハンマリング装置であり、同図(b)は手動式の油圧プレス装置である。ハンマリング装置の場合は、試料電池を金床上に置き、ハンマリング時およびその後の状況を観察した。油圧プレス装置を用いた実験では試料電池に耐力がないため、プレスすると同時に塑性変形し、加圧状態で維持することはなかった。



(a) ハンマリング装置



(b) 手動油圧プレス装置

図1 実験装置



図2 ボタン型電池(2枚重ね)の圧壊状況

## 3 実験結果および考察

ハンマリングによる実験および油圧プレスによる実験、いずれの場合もボタン型およびコラム型のリチウム電池を使用して実験を行った。ボタン型電池については圧壊の状況が判別しにくかったため、必要に応じて2枚重ねた状況での実験を行った。

### 3.1 ハンマリング実験

ハンマリングによる実験では、ボタン型およびコラム型、いずれの場合も変形は小さく、爆発的な状況等は観察されなかった。2枚重ねたボタン型リチウム電池のハンマリング後の状況を、図2に示す。小さなボタン型電池が大きなボタン型電池に食い込む形となった。顕著な漏液等は見られなかったが、変形後、触手により確認したところ、発熱が確認できた。図3は、コラム型電池のハンマリング試験の状況を示すものである。縦置きでの破壊を行ったところ、鋼塊の落下中心線とコラム型電池の中心線を合わせることが困難で、安定した破壊を行うことができなかったため、横置きでハンマリング実験を行った。コラム型電池についても、変形後、触手により確認したところ、発熱が確認できた。

いずれの形状の電池でも、変形により絶縁が破壊されると発熱することが確認できた。そこで触手観察の結果、比較的発熱が大きかったコラム型電池について、手動油圧プレス装置を用いて圧壊状況を観察することとした。

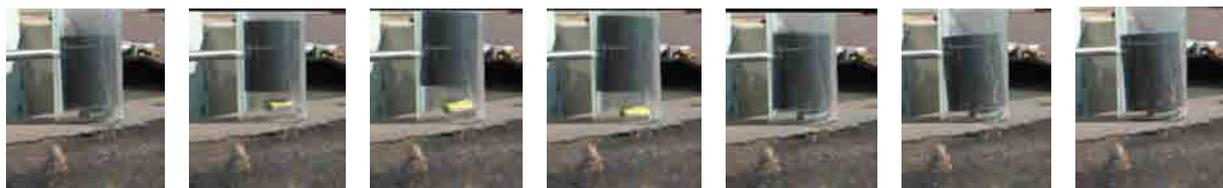


図3 コラム型電池のハンマリング試験状況

### 3.2 手動油圧プレス実験

実験は、コラム型電池を使用して行った。観察結果を図4に示す。各図の下にプレス開始からの時間経過を示すが、試料電池はプレスによりただちに組成変形するため、加圧状態で保持しているものではない。実験中は放射温度計を用いて、試料電池の表面温度を計測した。

上下端部が少し変形した  $t=55$  秒ごろに電池内の溶液が漏洩するとともに、温度上昇が始まり、 $60^{\circ}\text{C}$ 程度の温度を示した。その約1分後の  $t=118$  秒ごろに白煙を確認し、その後  $t=127$  秒ごろに最高温度の  $170^{\circ}\text{C}$ を確認した。発煙は1分程度継続したが、試料電池表面温度は徐々に低下し、実験終了時の温度は  $80^{\circ}\text{C}$ 程度であった。

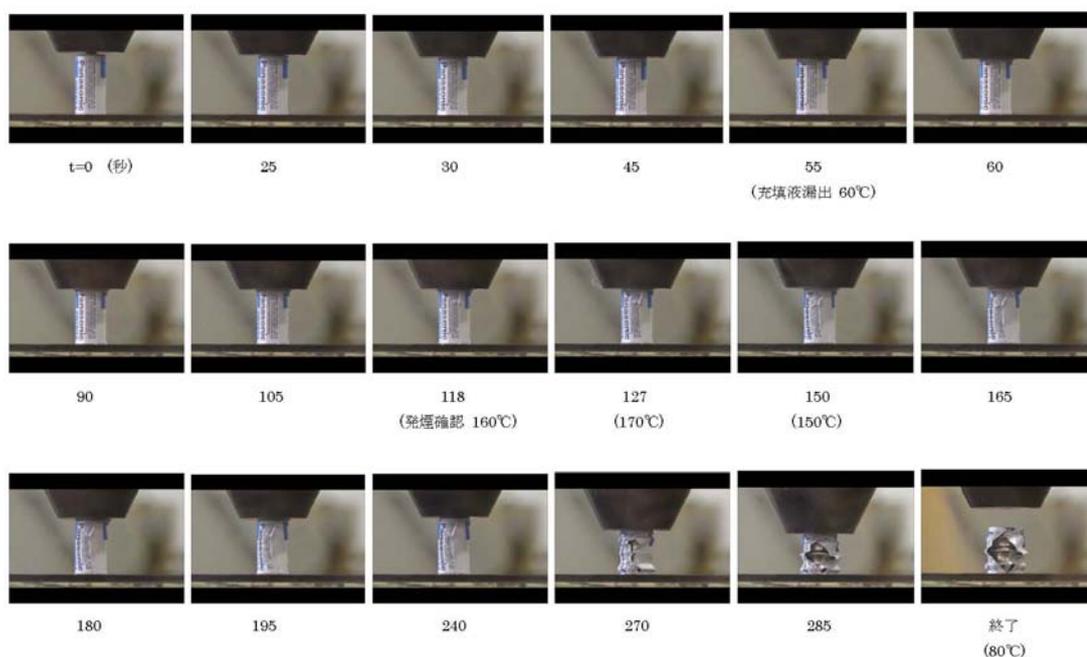


図4 コラム型電池の圧壊状況

## 4 まとめ

今回の用いた実験装置では、爆発的な発火をとまなう破壊は、ボタン型及びコラム型いずれの電池についても確認できなかった。また、プレスによる圧壊実験でも、明確な温度上昇が確認できたのはコラム型電池のみで、最高温度も  $170^{\circ}\text{C}$ 程度であった。スクラップとして混載される種々の物質の中には、この程度の温度で発火に至るものも存在することが考えられるが、実際のスクラップの積載、輸送状況を見る限りでは、多くの場合、初期火災の形成に関与しているものは混在する油類であると考えられる。

すでに油類の可燃性混合気が生じ、滞留した状況下で、何らかの原因でリチウム電池等が火花をとまなう破壊をした場合には、火災に至ることは考えられる。しかし、油類の自発火温度は  $250^{\circ}\text{C}$ 程度以上であることが一般的であり、また、そのためにはこのような油類の可燃性混合気を生成するために必要な高温かつ大きな容量の熱源が必要であることから、リチウム電池がスクラップ火災の主たる原因とは考えにくい。特にスクラップ中の電池類は使用済みのものであり、活性が低いため、火花をとまなう破壊は生じにくいと考える。

前述したように、スクラップを積載した貨物船内で電池等が瞬間的に破壊されるような状況は少ないと思われることから、リチウム電池は発火の一つの要因にはなり得るが、さらに他の原因等についての幅広い調査を継続することが必要である。