

機関番号：11101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21710167

研究課題名(和文) 微小爆薬を用いたプール火災の爆風消火の研究

研究課題名(英文) Research on Blast Extinguishment of Pool Fire by Using Micro Explosive Charge

## 研究代表者

鳥飼 宏之 (Hiroyuki Torikai)

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：50431432

## 研究成果の概要(和文)：

爆薬にアジ化銀ペレットを用い、そのペレット数を変化させることで爆発現象に投入するエネルギー量を変化させ、そして消火対象にメタン-空気拡散火炎を用いて爆風消火の消火特性について実験的に検討した。その結果、爆薬量を増加させるほど、完全に消火が達成される爆点から火源までの距離が増加した。また、爆薬のエネルギー量と大気圧との比の1/3乗で爆点と火炎との距離を無次元化することで、火炎規模を一定とした場合、爆風により消火が達成される限界の無次元距離が投入した爆薬のエネルギー量によらずほぼ同じ値を示すことを明らかにした。

## 研究成果の概要(英文)：

Investigation of blast extinguishment of a methane-air diffusion flame by using micro-explosive charges (silver azide pellets) has been performed experimentally. In order to clarify the characteristics of blast extinguishment, the flame height, explosion energy and distance from the explosion point to the flame base were varied as a parameter. As a result, it is found that the flame extinguishing distance from the explosion point, in which the blast extinguishment probability shows always unity, depends on the effective distance of blast wave produced by silver azide explosion, and the value of the flame extinguishing distance divided by explosive energy to the power of one third becomes constant.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・社会システム工学・安全システム

キーワード：火災，消火，爆風，爆薬，拡散火炎

## 1. 研究開始当初の背景

現在の人間社会は、技術発展と伴にその機能を高度化し、極めて複雑な構造を有する。その結果、社会活動の維持には、様々な災害に備える必要があり、それは地震や台風とい

った自然災害だけでなく、アメリカで発生した同時多発テロなど人為的な災害をも含む。それらの災害は、事前対策によって発生数を少なくすることはできるが完全に無くすることはできない。従って、特にテロなどの不測

事態が発生した際、その発生後にどのような対応行動を取り、被害を最小化するかが重要となる。

そこで本研究は、テロや暴動などで発生する同時多発的な火災に注目し、それらの火災を迅速に消火・鎮圧するための強力な消火方法の開発を目指した。特に、これまで市街地での消火法として使用が検討されてこなかった爆風を利用した消火法に着目した。

## 2. 研究の目的

レーザーによる爆風消火の研究は、研究代表者によって行われてきている。パルスレーザーを固体表面に集光しそのパワー密度がしきい値を越えると、固体がレーザーエネルギーを吸収して熔融・蒸発しレーザーアブレーションと呼ばれる爆発現象が生じる。このときブラスト波が形成され、その背後には高速気流つまり爆風が形成される。この爆風によって火炎を吹飛ばし消火することができる。ただし爆風の到達距離は投入するエネルギー量に依存する。そのため、実際の火災で生じる火炎をレーザー誘起爆風によって消火しようとした場合、非常に大きなレーザーエネルギーを発生させる装置が必要となり現実的ではない。そのため、レーザー誘起爆風による消火法は爆風消火の基礎研究には適しているが、現実的な消火技術として考えることは難しい。

他方、爆薬を用いればレーザーに比して巨大なエネルギーを瞬間的に放出することができる。実際、通常の消火法で消火困難な油井火災に対して、消火に要する時間が短くまたコストも低いという点から爆薬による爆風消火が用いられている。そのため爆風消火を検討する場合、爆薬の利用は極めて現実的となる。また、爆薬は単位質量当たりのエネルギー量が非常に大きく持ち運びが容易なため土木工学などで広く使用され、その制御技術は精緻なものとなっている。そのため、爆薬のエネルギー量を調節することにより爆風到達距離を正確に制御し、市街地においても人命への配慮を行った上で、爆薬による爆風を消火技術として使用することは十分可能である。そこで本研究は、テロなどの人為的な災害の被害拡大を抑制するための迅速な消火法として爆薬による爆風消火について検討する。特に、爆薬を用いた爆風消火の基礎特性を明らかにする。

本研究では、爆薬にアジ化銀ペレットを使用し、そして消火対象にメタン-空気拡散火炎を用いて爆風消火実験を行った。そして、アジ化銀ペレットの使用個数を変化させて爆風の到達範囲を変化させることで、爆風消火特性がどのように変化するかを検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 爆風消火実験装置

図1に実験装置の概略を示す。消火対象にはメタン-空気拡散火炎を用いた。メタンは体積流量  $V$  [l/min] をキャピラリー流量計で測定しバーナへ送った。バーナは内径 28 mm、外径 30 mm のステンレス円管を用い、図1のように厚さ 10 mm のアルミ平板に埋め込んだ。バーナ内部には直径 0.991~1.397 mm のガラスビーズをいれ、一様な速度で燃料が噴出されるようにした。爆点とバーナ中心との距離  $R$  [mm] は、図2のような螺旋状にバーナを配置し変化させた。また爆点を中心とした直径 20 mm の円領域は、厚さ 4 mm の鉄製の円盤をはめ込んだ。これは爆発で生じる板の変形が実験に影響しないようにするため、実験毎に鉄製円盤は交換した。

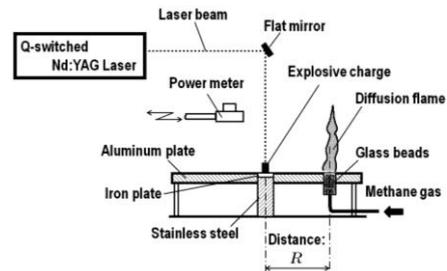


図1 爆風消火実験装置

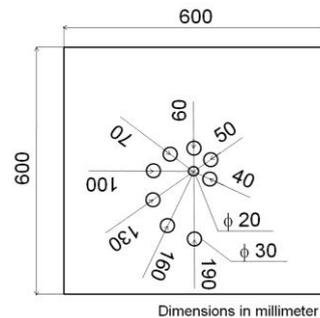


図2 バーナ配置



図3 アジ化銀ペレット

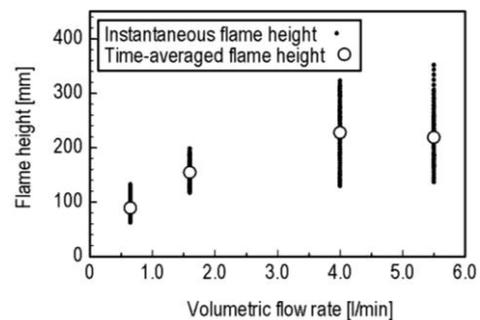


図4 消火対象の火炎高さ

## (2) アジ化銀ペレット

爆薬にはアジ化銀ペレット(昭和金属工業社製)を用いた。ペレットの写真を図3に示す。1個のアジ化銀ペレットは直径1.5 mm, 高さ1.5 mmの円筒形で薬量は10 mgとした。1個のアジ化銀ペレットが完爆した際に発生するエネルギー量 $E$ は18 J程度と考えられる。ペレットは図3のように板上に置き起爆した。また爆発への投入エネルギー量を変化させるために、2個もしくは3個のペレットを図3のように重ねて置いて実験を行った。爆薬が2個の場合、完爆すると発生するエネルギー量 $E$ は36 J程度、3個の場合54 J程度となる。起爆にはQ-switched Nd:YAG レーザ(BM Industries, PVL200)を使用した。レーザは波長:532 nm, パルス幅(FWHM):6 ns, ビーム径:約5 mmで使用し、レーザエネルギーは約20 mJ/pulseとした。レーザエネルギー量はパワーメータ(Scientech, PHD50)で測定した。アジ化銀の起爆に必要なエネルギー量は約4 mJ/cm<sup>2</sup>であるが、本実験では約102 mJ/cm<sup>2</sup>を与え確実に起爆するようにした。またレーザの照射は図3のように設置したペレットの直上から、図1のように真下に向けて行った。

## (3) 消火対象

消火対象のメタン-空気拡散火炎はメタン流量 $V=0.7, 1.6, 4.0, 5.5$  l/minの4つの条件で形成し、消炎の容易さを変化させた。形成された火炎は自然対流に支配され、その火炎高さは周期性を有して時間的に変化した。図4にバーナリムから黄炎の最下流端までの距離を火炎高さとして測定した結果を示す。○は平均火炎高さ、点は瞬時火炎高さを示す。流量 $V$ が増加すると火炎高さは90, 150, 230, 220 mmと変化した。また、火炎の変動幅は $V$ の増加に伴って図4のように増大した。

## (4) 消火実験

消火実験では安定な火炎を形成した後に、レーザをアジ化銀ペレットへ照射し起爆した。そして、火炎が全体消炎を示した場合を消火成功とした。この実験を1つの条件で10回行い、成功回数を実験回数で除することで消火確率 $P$  [-]を求めた。

## 4. 研究成果

### (1) 爆風消火の過程

図5に爆風消火過程を示す。実験条件はアジ化銀ペレット3個,  $V=5.5$  l/min,  $R=60$  mmである。撮影にはデジタルカメラ(CASIO, EX-F1, 600 fps, 露光時間 1/640 s)を用い、ブラスト波と火炎との干渉現象は観察できないが全体消炎に至る火炎挙動は観察できる。図中の時間は起爆を0 msとしている。図5から起爆後の次の画像で、火炎の基部部分が消炎していることがわかる。また、その浮き上がった火炎の下部に見える白い煙は爆薬の燃

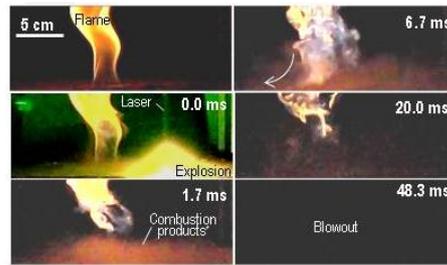


図5 爆風消火過程

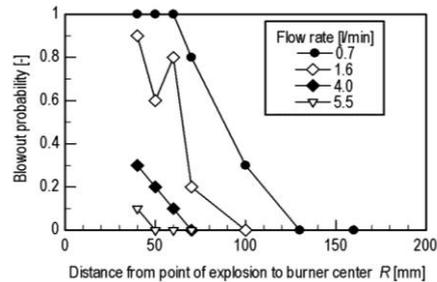


図6 爆風消火確率(単一ペレット)

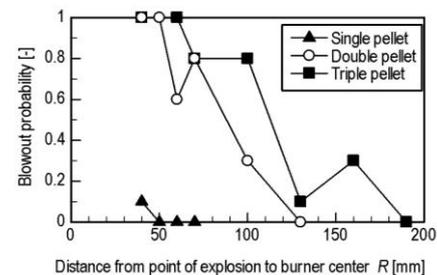


図7 爆点からの距離と消火確率

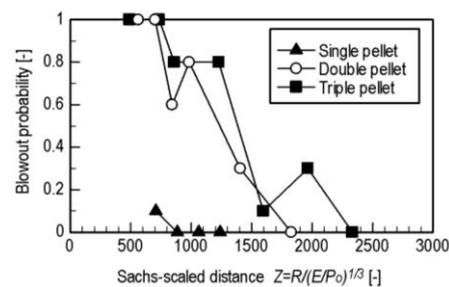


図8 Sachs-scaled distance

焼ガスと考えられ、約2 ms程度で爆点から火炎位置まで到達している。そして、その5 ms後には、爆薬から生じた燃焼ガスの流れが原因と考えられるが、浮き上がった火炎の基部が青炎を伴い、そして大きく乱れた様相を呈して、図中矢印方向へ引きずり込まれる挙動を示した。その後、残った火炎片は徐々に火炎面積を減少して行き、最終的に50 ms程度で全体消炎が達成された。

はじめの火炎基部に形成された局所消炎が、ブラスト波との干渉によって形成されたものかを図5から判別することはできないが、先に述べたように起爆すると基部部分に瞬間的に消炎領域が形成され、残りの火炎は下流に残るものの徐々に消炎することがわかった。他方、消火失敗の場合、火炎基部が爆

風によって消炎したとしても、残った火炎がバーナに再付着することで全体消炎が達成されないか、もしくは $R$ の値が大きくなると、爆風が火炎まで到達せず全体消炎に至らない。

#### (2) 単一アジ化銀ペレットによる爆風消火

まず図6にアジ化銀ペレット1個を使用して、メタン流量 $V$ と爆点とバーナ中心との距離 $R$ を変化させて得た消火確率 $P$ の分布を示す。横軸は $R$ としている。図6から、どの $V$ においても $R$ が減少すればするほど $P$ が増加することがわかる。そして、本実験条件で最も小さな流量 $V=0.7$  l/min (火炎高さ 100 mm) では、 $R \leq 60$  mm で $P=1$  が得られ、1個のアジ化銀ペレットで常に消火が達成される条件が存在することがわかる。このように、火炎規模が小さいほど、また爆点が火源に近づくほど爆風の消火効果は増大する。しかし $V$ が大きく火炎規模が増大すると、先に述べたように、 $R$ が小さく爆風が火炎へと到達し基部を局所的に消炎できたとしても、下流に残った火炎を消しきれずに消火失敗となり、消火確率が減少するものと考えられる。

#### (3) 複数ペレットによる爆風消火

次に、アジ化銀ペレットを複数個使用し爆風を駆動するエネルギー量を増加させた場合に得られる消火確率分布を示す。横軸は $R$ である。メタン流量は本実験で最大の $V=5.5$  l/min (火炎高さ 220 mm) 一定としている。図7からアジ化銀ペレット1個では $P=1$  が得られなかった $R$ の条件で、ペレット2個もしくは3個で $P=1$  が得られるようになっていることがわかる。これは、ペレット数を増加したことで爆風到達範囲が広がり、消火効果が増大したことを示す。また、図7で $P=1$  となる距離 $R$ は、ペレット2個では $R \leq 50$  mm、ペレット3個では $R \leq 60$  mm とペレット数が増加するほど $P=1$  が達成できる空間範囲が増加することがわかる。

#### (4) スケール則の適用

爆発現象に投入されるエネルギー量が増えたとしても、爆風に関する現象は相似的に取り扱うことができ、ブラスト波の過剰圧などはスケール則で統一的に表すことができる。そこで、図7の爆点からバーナ中心までの距離 $R$ を、爆薬のエネルギー量 $E$ 、大気圧 $P_0$ を用いて次のように無次元化する。

$$Z = R/(E/P_0)^{1/3}$$

これは Sachs' s scaling law として知られている。図8に、図7の消火確率分布を $Z$ で整理した結果を示す。図8からペレット2個またはペレット3個を使用したときの $P=1$ を示す最大の $Z$ がほぼ等しくなっていることがわかる。このことは今回用いた $V=5.5$  l/min のメタン-空気拡散火炎を消火し、 $P=1$  を得

るのに有効な爆風条件では、その過剰圧やブラスト波背後の高速気流などの値が、投入エネルギーによらずほぼ等しいことを示していると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 5件)

(1) 鳥飼宏之、伊藤昭彦、メタン-空気拡散火炎の爆風消火の特性 (震災のため中止となったが、本シンポジウムでの発表は成立)、平成 22 年度 衝撃波シンポジウム (<http://www.jssw-h22.org/top>), 2011 年 3 月, 紙上.

(2) 鳥飼宏之、伊藤昭彦、アジ化銀ペレットを用いたメタン-空気拡散火炎の爆風消火、第48回燃焼シンポジウム, 2010年12月1日, 福岡, 都久志会館 (福岡市)

(3) 鳥飼宏之、伊藤昭彦、微小爆薬を用いたメタン-空気拡散火炎の爆風消火、平成 22 年度日本火災学会研究発表会, 2010 年 5 月 17 日, 北海道, 北海道大学 (札幌市)

(4) 鳥飼宏之、レーザ誘起爆風を用いた消火法の実験的検討、第57回全国消防技術者会議, 2009年11月25日, 東京, 虎ノ門.

(5) 鳥飼宏之、藤本直文、伊藤昭彦、レーザを利用した爆風消火とエネルギー投入量との関係、平成 21 年度 日本火災学会研究発表会, 2009 年 5 月 20 日, 東京, 神楽坂.

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

鳥飼 宏之 (HIROYUKI TORIKAI)

弘前大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：5 0 4 3 1 4 3 2