

不活性ガスを含む泡消火法に関する研究

(課題番号 11650230)

平成11年度～平成12年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))

研究成果報告

平成13年3月

研究代表者 伊藤 昭彦

(弘前大学工学部)
教授

Fire Fighting by Water Bubble Loaded with Inert Gases

(PROJECT NUMBER : 11650230)

1999-2000 Grant-in-Aid for Scientific Research (C) (2)
Research Results Report

March, 2001

Akihiko ITO
Department of Intelligent Machines and System Engineering
Hirosaki University

目次

1. はじめに	1
研究組織	3
研究経費	3
研究発表	3
2. 実験装置および方法	5
3. 実験結果および考察	5
3. 1 消火時間への液流量の影響	5
3. 2 消火時間へのガス流量の影響	5
3. 3 消火過程の機構	10
4. まとめ	18
参考文献	19

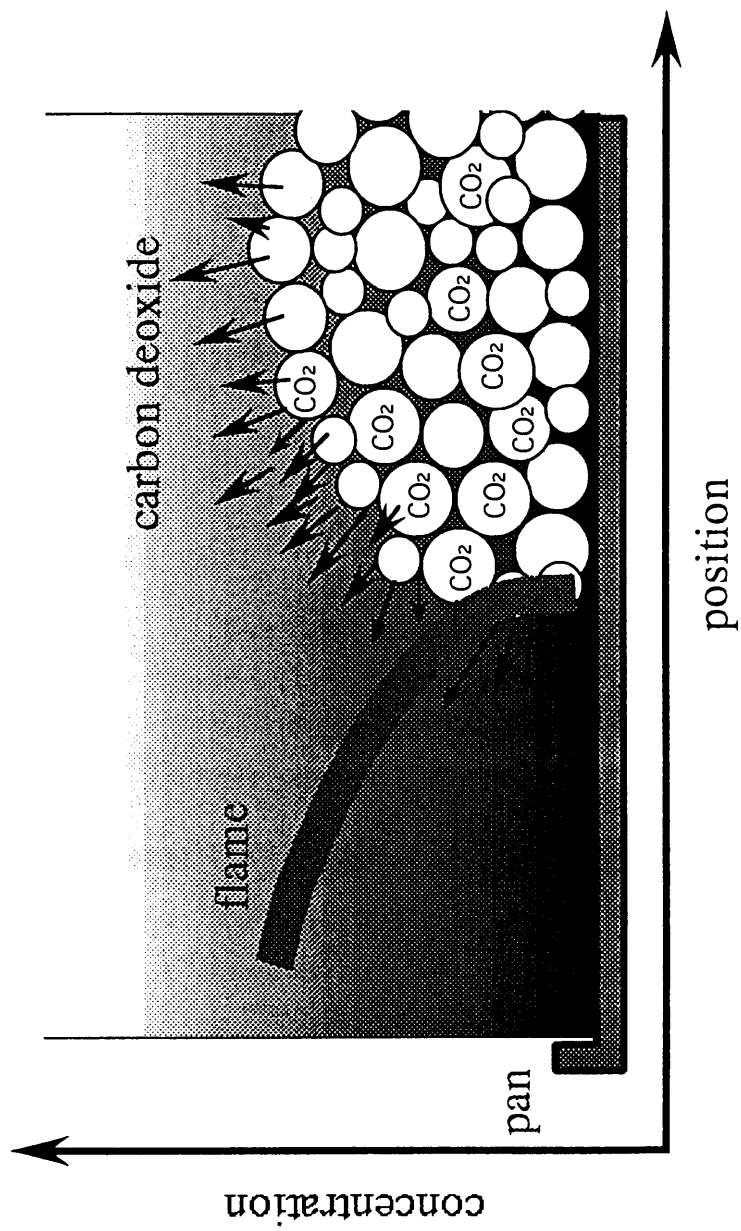
1. はじめに

ハロン系消火剤（おもにハロン1301）は低毒性、低汚損性等の優れた性質をもつ消火剤であり、博物館、美術館、デパート、駐車場にいたる公共性の高い建物やコンピュータ室、通信機器室、航空機、船舶などの消火設備として幅広く利用されてきた。しかし、オゾン層保護のためのウィーン条約に基づく、オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書において、ハロン系消火剤はオゾン層破壊物質に指定され、1992年の第4回モントリオール議定書締結国際会議において1994年4月1日以降のハロンの生産を国際的に禁止することが定められた。ハロン以外のガス消火剤として二酸化炭素や窒素などの不活性ガスによる消火法¹⁾があるが、消炎濃度がハロン消火剤に比べて著しく高く、消火設備の作動時に窒息事故が起こるなど、人命安全の見地から問題が生じている。このため、ハロン消火剤に代わる新消火法を確立し、その設備開発が急務になっている²⁾。研究代表者らのこれまでのプール火災の空気流入機構の調査^{3)～5)}によると、火炎基部からの空気流入が火炎の付着や安定性に必要な役割を果たしている。したがって、火炎基部からの空気流入を絶つことが消火に極めて有効と推測される。

現在行われている消火方法は大きく分けて、1) 散水消火（スプリンクラー、ミスト消火も含む）、2) ガス消火、3) 泡消火に分類されるが、本研究では2)と3)を組み合わせた新しい消火方法を提案する。すなわち、図1のモデルに示すように、水性のバブル内に不活性ガスを閉じ込めてこれを火炎基部に集中させることで効率的に消火し、かつ不活性ガスの濃度を下げて安全性の高い消火を実現させようとするものである。以上の状況を踏まえ、本研究の目的を次の二項に置く。

- 1). 平成11年度 不活性ガスを含む起泡性水性フィルム消火装置を制作し、不活性ガスの種類、ガス流量、水流量をいろいろ変化させて消火実験を行い、最適な消炎条件を明確にする。
- 2). 平成12年度 消火過程を高速度ビデオカメラで観察し、気泡の崩壊と不活性ガスの火炎への流入過程を調べ、消炎機構を明確にする。

図1 不活性ガスを含む泡消火のモデル



研究組織

研究代表者 伊藤 昭彦 (弘前大学工学部教授)

研究経費

平成11年度	1,800	千円
平成12年度	1,100	千円
計	2,900	千円

研究発表

学術誌等

- (1) A. Ito, A. Narumi, T. Konishi, G. Tashtosh, K. Saito, C.J. Cremers, The Measurement of Transient Two-Dimensional Profiles of Velocity and Fuel Concentration over Liquids, Transaction of ASME, Journal of heat transfer, Vol. 121, No. 2, (1999), pp.413-419.
- (2) G. Tashtosh, K. Saito, C. J. Cremers, T. Konishi, A. Ito, Measurement of Three-Dimensional Flow (Gas and Liquid) structure Generated by a Spreading Flame over n-Butanol, Proceedings of the Fifth International Symposium on Fire Safety Science, 1999.
- (3) 伊藤昭彦, 島崎真一, 大波多幸司, 小型プール火災の火炎基部構造と空気流入機構, 日本火災学会論文集, 第50巻, 第1号, (2000), pp. 13-22.
- (4) 伊藤昭彦, 西雄一, 島崎真一, 小型プール火災の間欠火炎構造と空気流入機構, 日本火災学会論文集,

第 50 卷, 第 1 号, (2000), pp. 23-30.

- (5) T. Konishi, A. Ito, K. Saito,
Transient Infrared Temperature Measurement of Liquid-Fuel
Surface: Implication to Studies on Flame Spread over Propanol,
Applied Optics, Vol.39, No.29, (2000), pp.4278-4283.
- (6) T. Konishi, G. Tashtosh, A. Ito, A. Narumi, K. Saito,
The Effect of Cold Temperature Valley on Pulsating Flame Spread over
Propanol, Proceedings of 28th International Symposium on Combustion,
(2000).
- (7) A. Ito, T. Konishi, K. Saito,
Scale Effects to Flame Structure in Medium-Size Pool Fires,
Proceedings of the Third International Symposium on Scale Modeling,
(2000), pp.28-29.

口頭発表

- (1) 伊藤昭彦, 堀本登,
不活性ガスを含む泡消火に関する研究, 日本火災学会研究発表会概要集,
(2000), pp. 188-191.
- (2) 小西忠司, 伊藤昭彦, 阿部透, 長野智和, 高松康哉, 本田貴寛,
液体燃料表面上を伝ばする火炎先端近傍の三次元渦構造, 第 38 回燃焼シ
ンポジウム講演論文集, (2000), pp. 67-68.
- (3) 小西忠司, 伊藤昭彦, 是永優一, 原真二, 橋本直樹, 馬崎裕士,
ホログラフィおよび赤外線画像解析による二次元温度・濃度分布の同時測
定, 第 38 回燃焼シンポジウム講演論文集, (2000), pp.379-380..

出版物

環境圏の新しい燃焼工学, 監修 本田尚士, フジテクノシステム,
pp. 121~124.

2. 験装置および方法

消火実験用の燃焼室および不活性ガスを含む気泡発生装置の概略を図2に示す。燃焼室は幅100cm，奥行き100cm，高さ150cmの耐火壁で作られており，側面の一面が透明なアクリル板で内部の様子が観察できるようにしている。気泡の生成は界面活性剤を含む水（市販の合成界面活性剤3%水溶液）と消火ガスを混合させ，泡ヘッドより噴射させた。消火ガスは，窒素，二酸化炭素，イナージェンガス（52～54%N₂，8～9%CO₂，40～44%Ar）および比較のための空気の4種類とした。消火ガスの流量はデジタルフローメータで測定した。液流量はあらかじめポンプ出力に対する液流量を測定し，この流量校正曲線より所定の流量に設定した。消火実験は直径20cm容器の液体燃料プール火災を対象にし，燃焼室を開放した状態（open状態）と閉鎖した状態（closed状態）の両方について行った。バブルは直接火炎に照射せず，図3に示すように落下位置を容器より約15cm離して行った。実験はプール火災がほぼ定常になった後，バブルを噴射し消火するまでの時間とその様子を高速度ビデオカメラで測定した。本実験では比較のために，closed状態での二酸化炭素のみによる消火実験も行った。

3. 実験結果および考察

3. 1 消火時間への液流量の影響

図4はガス流量を60l/min一定として，液流量を変化させた場合の消火時間と液流量との関係を，燃焼室開放と閉鎖の状態を比較して示している。いずれのガスにおいても液流量が増加するほど消火時間は減少するが，ある液流量（3.5l/min）以上になると消火時間は液流量にほとんど依存しなくなる。燃焼室開放状態と閉鎖状態との相違は，液流量が小さく消火までに要する時間が長い場合に現れる。これは，燃焼時間が長い場合に限って 室外からの酸素の流入の影響が現れるためと考えられる。消火時間の最も短い二酸化炭素を含む泡消火では両者の差はほとんどない。

3. 2 消火時間へのガス流量の影響

燃焼室閉鎖状態で，液流量を3.75l/min一定とした場合の消火時間とガスの

図2 実験装置概略図

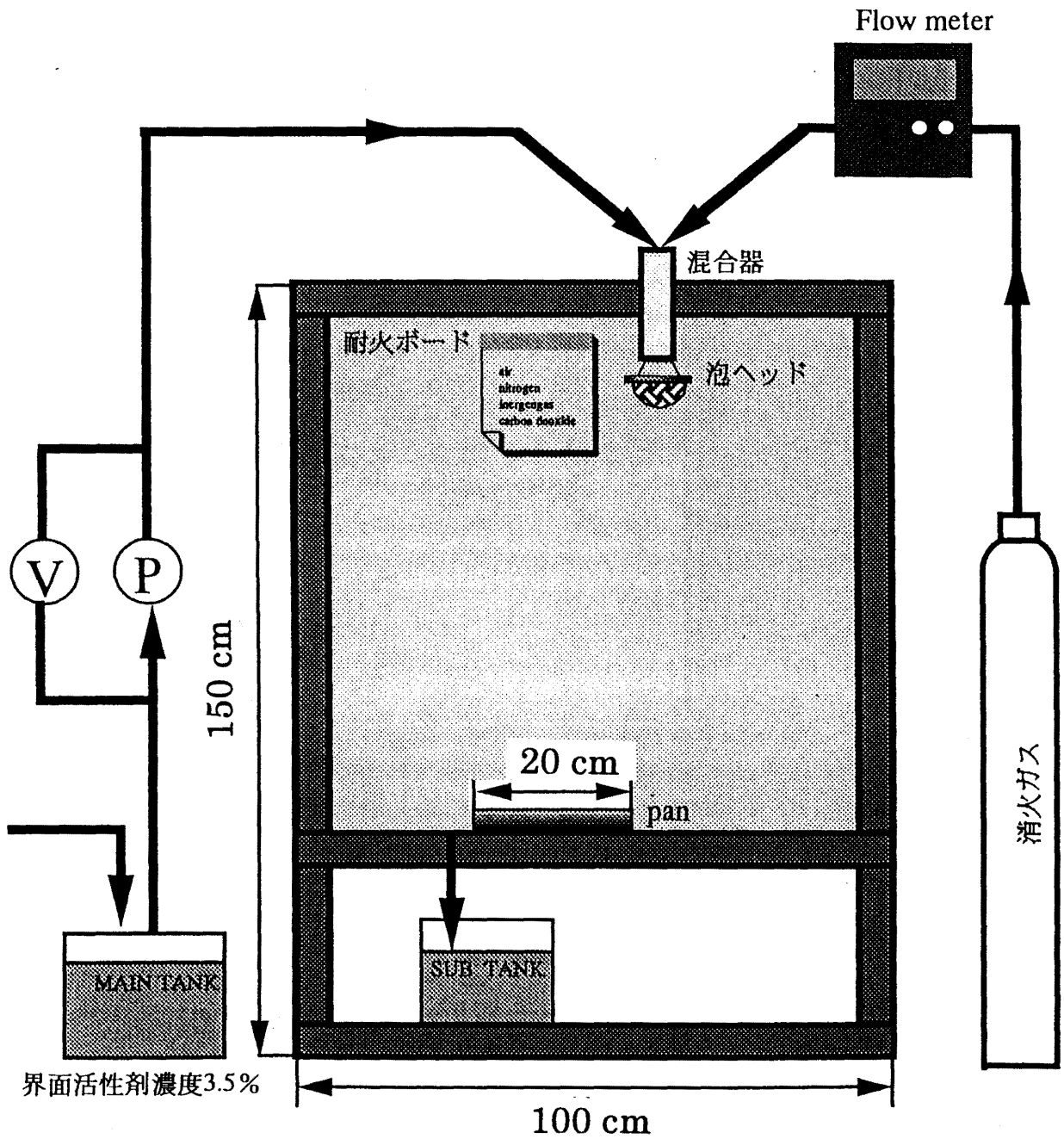


図3 燃焼容器と泡の落下位置

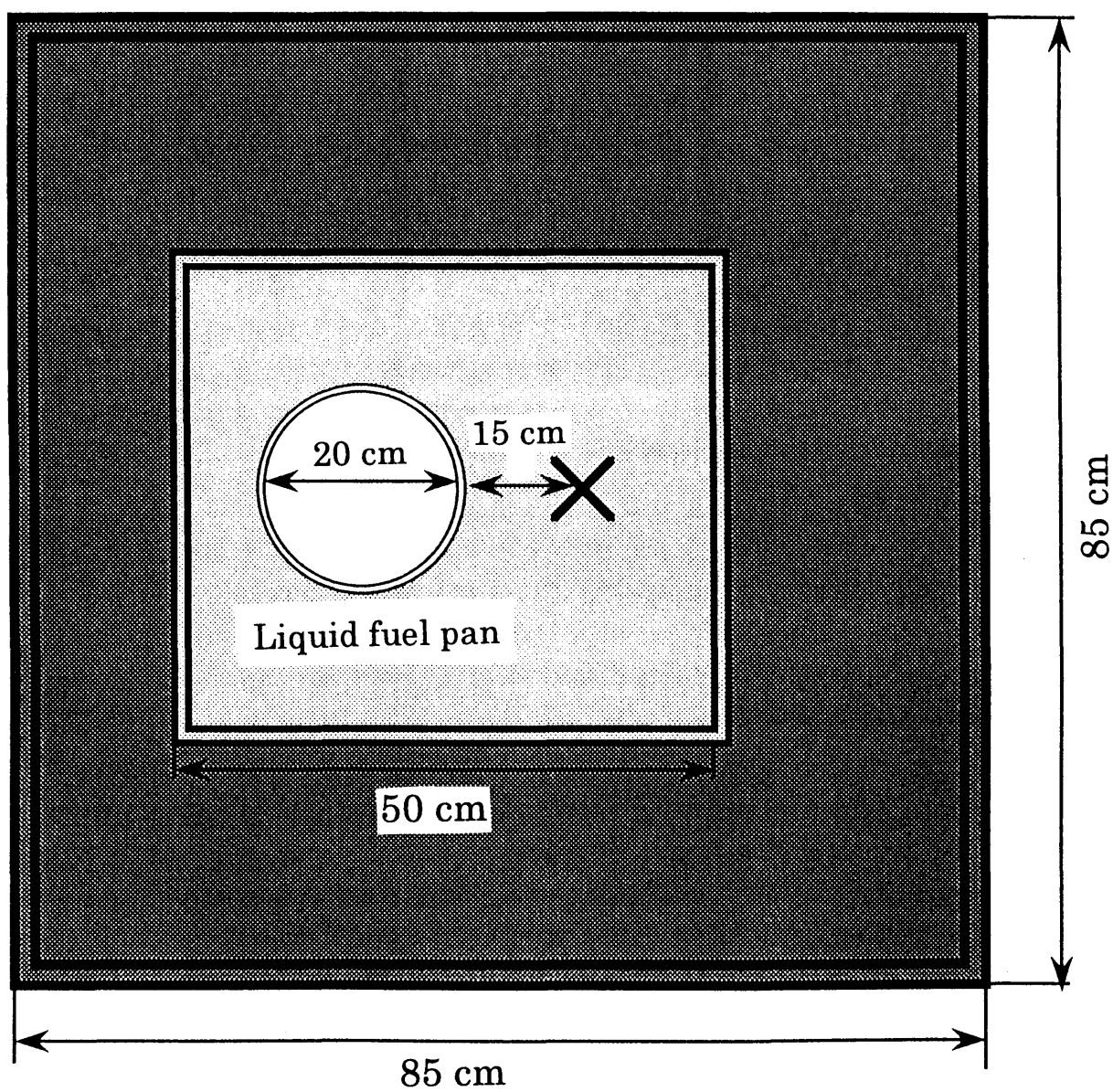


図4 消火時間と液流量との関係

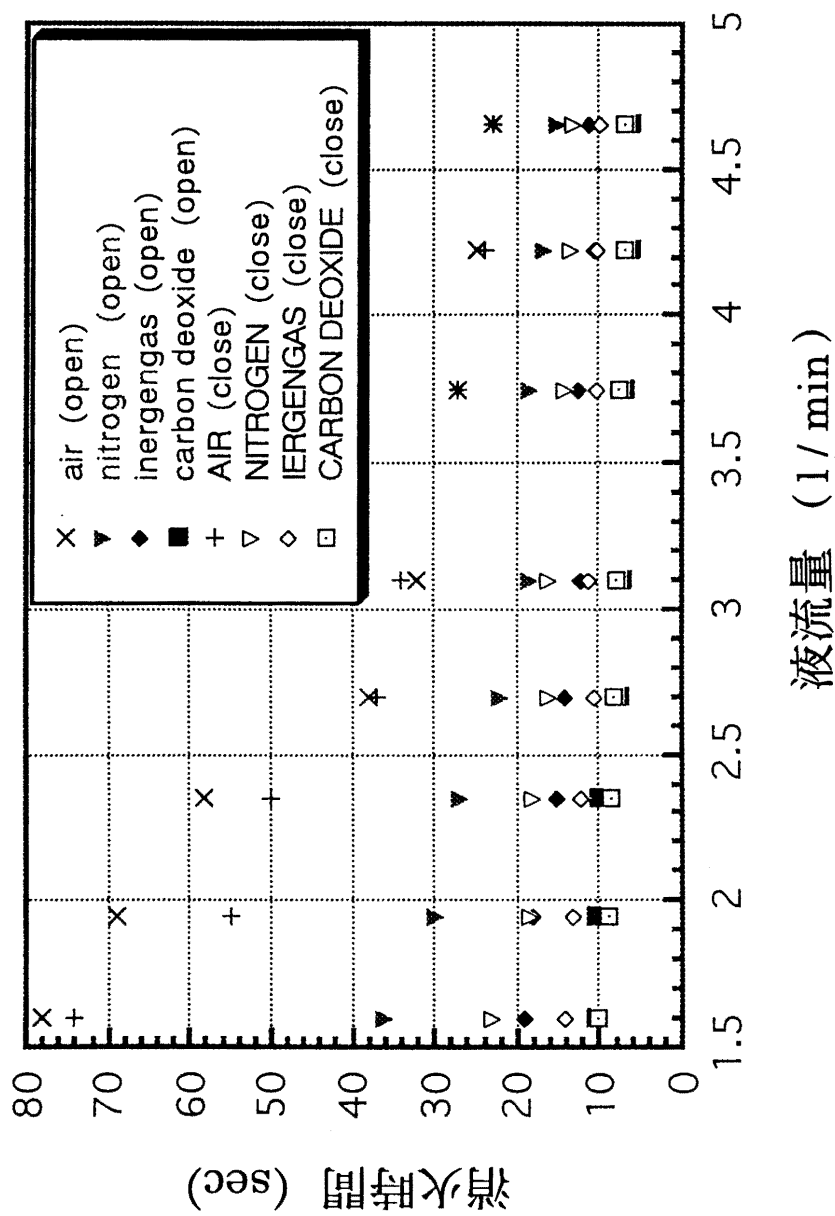
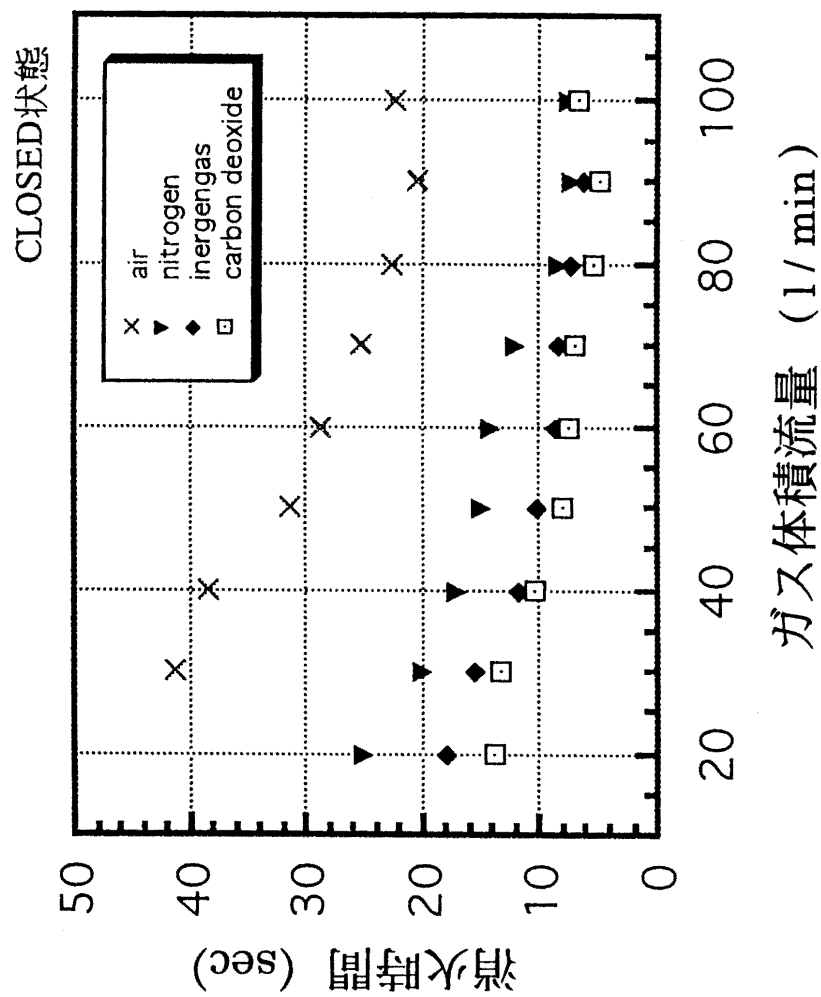


図5 消火時間とガス体積流量との関係



体積流量との関係を図5に示す。なお、燃焼室解法状態の結果は閉鎖状態のそれとほとんど差違は見られないので、以下では閉鎖状態のみの結果を示す。消火ガスの体積流量が増加するほど消火時間は減少するが、ある流量以上で一定値に近づく。ガス流量が100 l/minで消火時間が増加に転じているが、この原因はガスの噴出速度が大となり気泡が有効に生成されずに一部はガスの状態で噴出したことによると推測される。

図6と7は、消火までに要した総ガス量と総液量をガスの体積流量を横軸にとって示している。図6より、ガスの体積流量が小さい方が消火までに要した総ガス量は少ない。一方、総液量は消火時間の短いほど少なくてすむので、ガスの体積流量が大きい方が有利である。これらのことを考え合わせると消火に最適な液流量とガス流量の組み合わせが存在する。本実験では、液流量約4 l/min、ガス流量約80 l/minの条件が最適といえる。二酸化炭素を消火ガスとした場合、この条件での消火に要した水は0.4 l、ガス量は約7 lであり、消火時間は約6秒である。これを燃焼室の容積から換算した消炎濃度は約1.7%となる。表1は燃焼室閉鎖状態での二酸化炭素のみによる10回の消火実験の結果を示したもので、平均の消火時間は101秒、消火までのガス量は147 l、これに対する平均の消炎濃度は23.9%となる。二酸化炭素のみのガス消火と泡消火を比較すると、泡消火による二酸化炭素の相対的な消炎濃度はガスのみの場合の約1/15と大幅に下げることが可能となる。

3. 3 消火過程の機構

本実験で行った4種類の消火ガスのうち、最も消火効果の高い二酸化炭素をふくむ泡消火の様子を空気のそれと比較して図8と図9に示す。図中の時間は泡を噴出した後の時間経過を表す。二酸化炭素の場合、泡が火炎に近づく(0.8~1.6 sec)と泡が火炎基部に直接ふれていないにもかかわらず、火炎は容器の中心に向かって後退し、泡が液面を覆う以前に消火する。これは、泡が火炎に接近してはじけると、内部の二酸化炭素が火炎基部から流入したことによると推察される。

ガスが火炎面に流入するときの速度はこれまでに調査したプール火災の火炎基部の流れ場からおよそ0.3~0.5 m/sと推定される5)。

泡内部のガスが空気では、泡が火炎面に接近しているにもかかわらず火炎はなかなか後退せず、泡が液面全体を覆った後に消火する。

図6 総液量とガス体積流量との関係

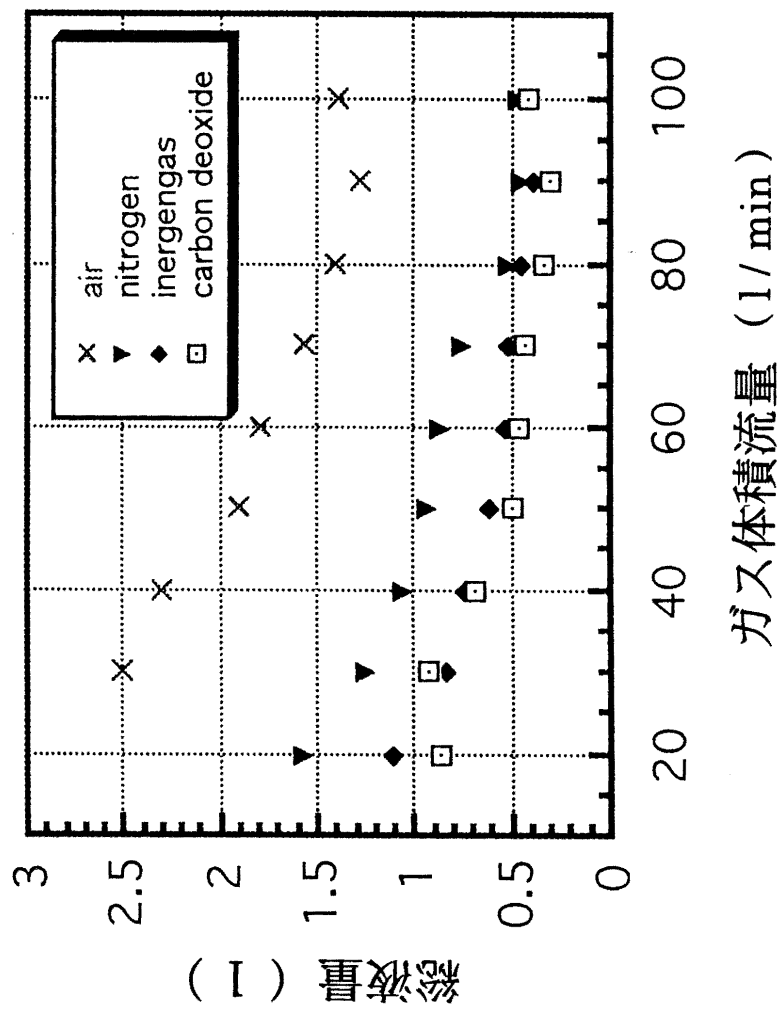


図7 総ガス量とガス体積流量との関係

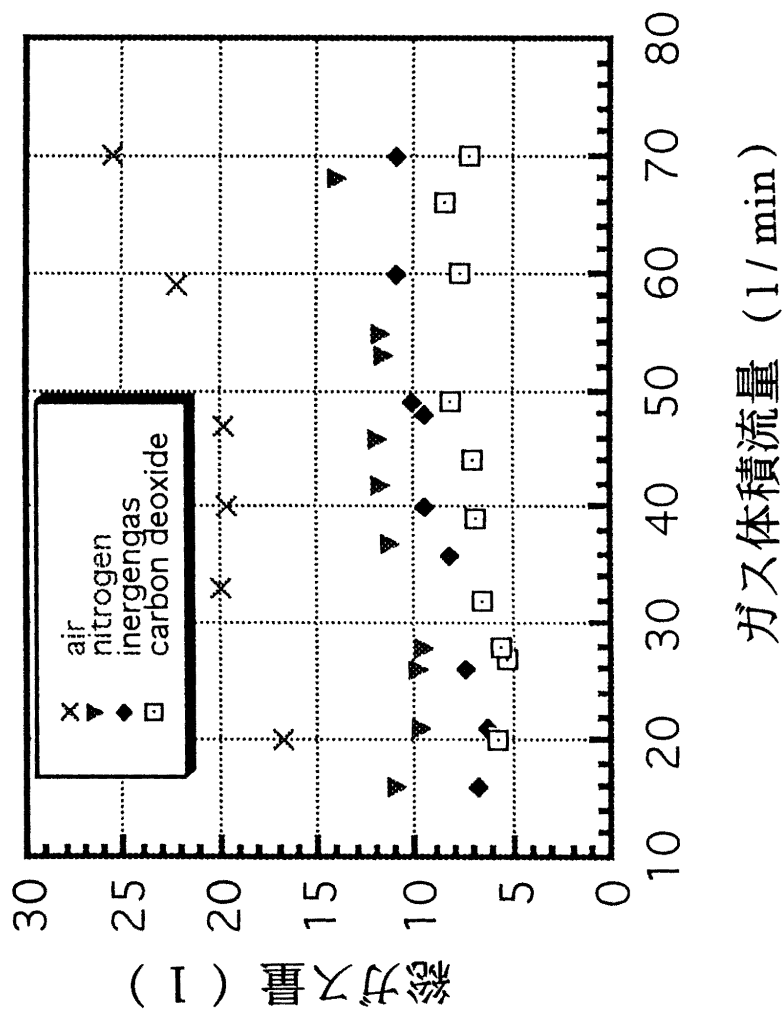


表1 二酸化炭素によるガス消火と泡消火の比較

二酸化炭素によるガス消火

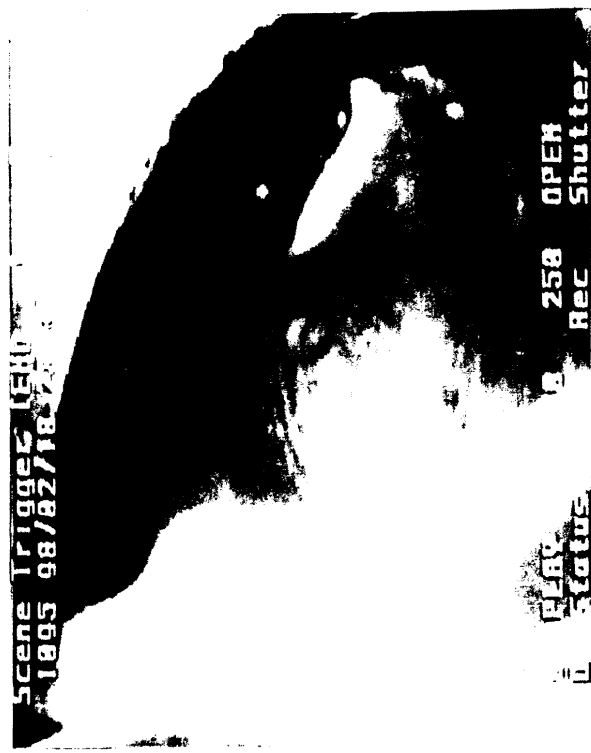
RUN	消火時間 (sec)	ガス総量 (l)	濃度 (%)
1	75	112	18.2
2	138	207	33.7
3	75	112	18.2
4	124	151	24.5
5	93	139	22.6
6	83	124	20.1
7	100	150	24.4
8	132	198	32.2
9	100	150	24.4
10	90	130	21.1

平均値	101(sec)	147(l)	23.9 (%)
-----	----------	--------	----------

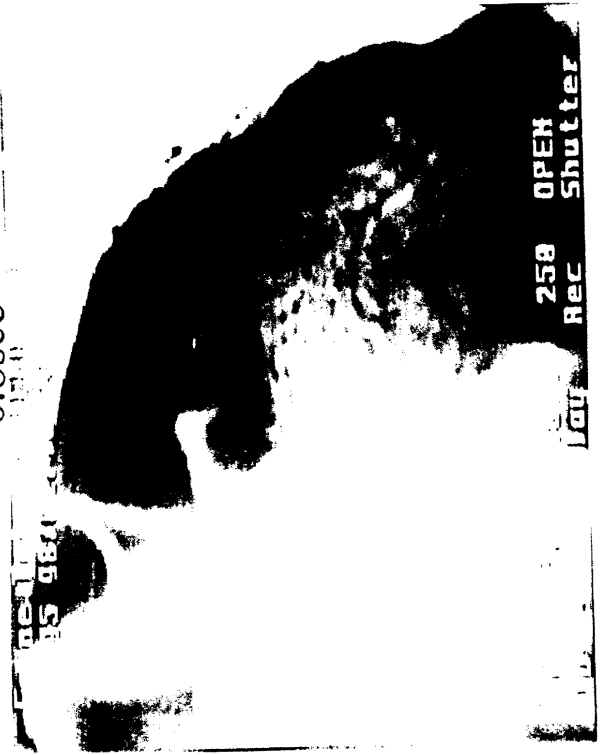
二酸化炭素を含む泡消火

平均値	6 (sec)	8 (l)	1.9 (%)
-----	---------	-------	---------

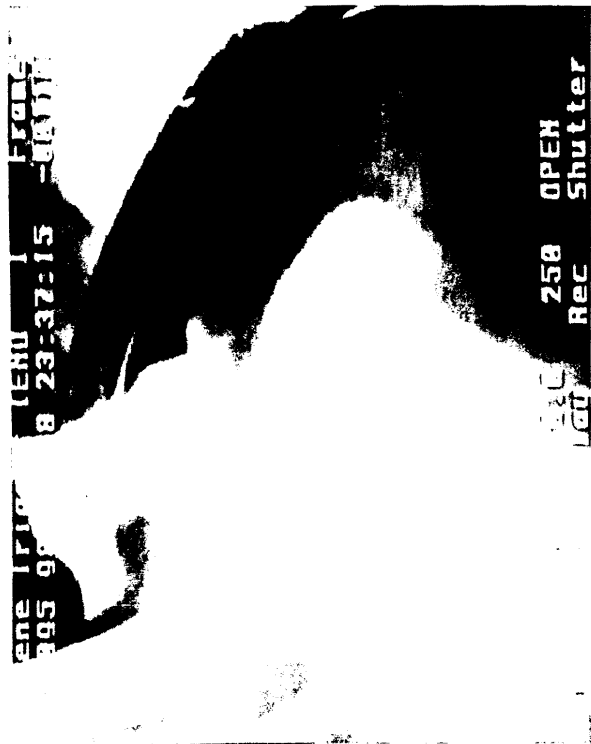
図8 消火過程の連続写真(二酸化炭素)



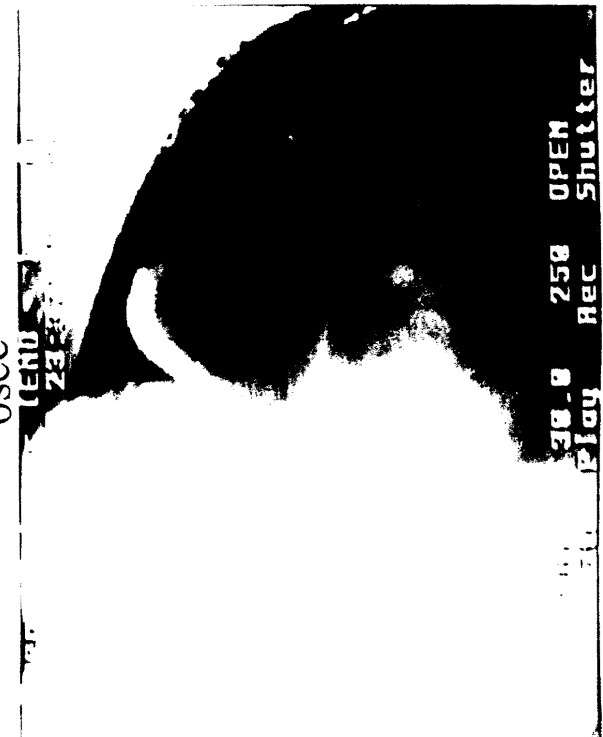
0.8sec



1.6sec



0sec



0.4sec

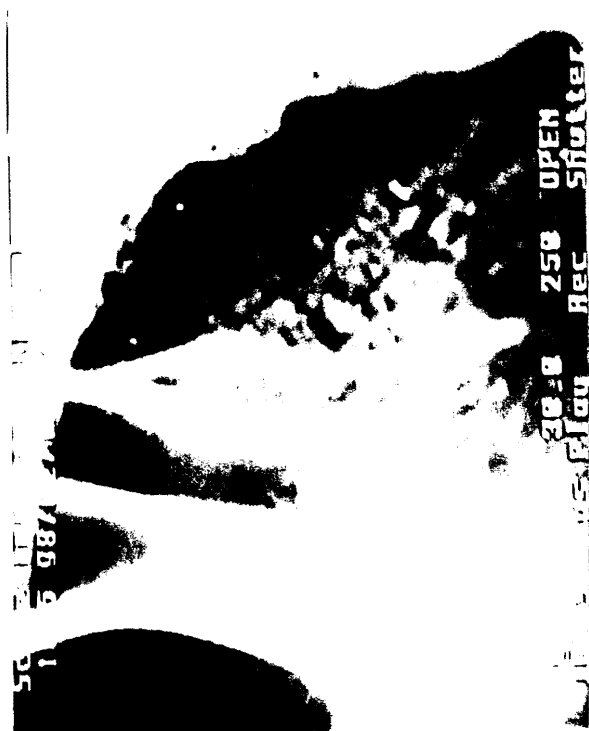
消火過程の連続写真(二酸化炭素)



2.0sec



3.6sec

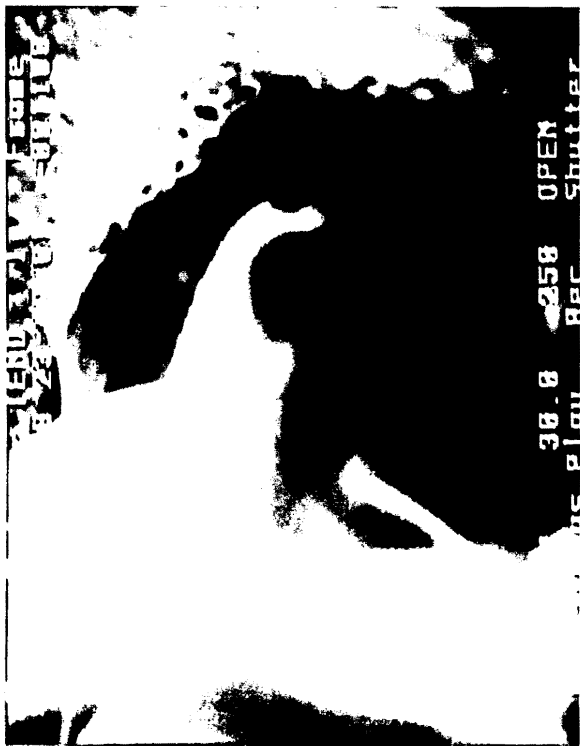


2.8sec



4.4sec

図9 消火過程の連続写真(空気)



0sec



0.8sec



0.4sec



1.6sec

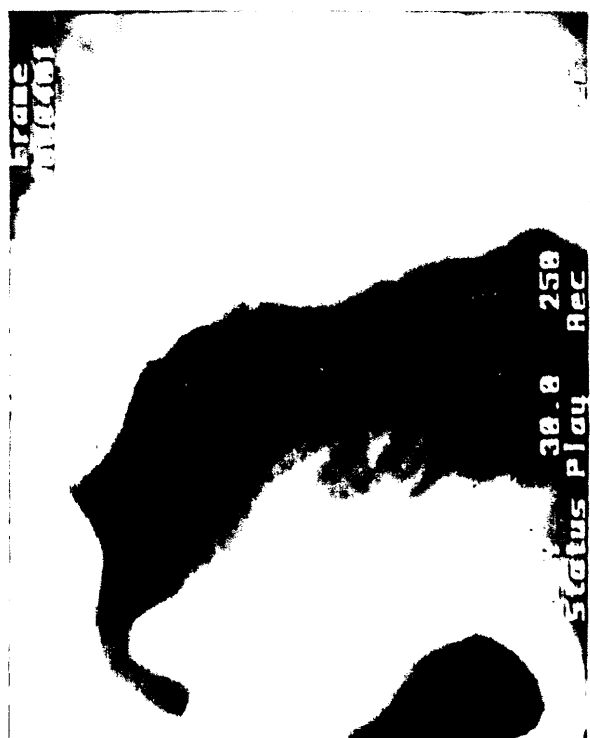
消火過程の連続写真(空気)



2.0sec



3.6sec



2.8sec



4.4sec

4. まとめ

不活性ガスを含む泡消火の実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) ガス流量一定の条件での消火時間は液流量の増加とともに減少するが、ある流量以上で一定になる。
- 2) 液流量一定の条件での消火時間はガス流量の増加とともに減少するが、あるガス流量以上で一定となる。
- 3) 上記の1)と2)から、消火時間が最小となる最適な水流量とガス流量が存在する。
- 4) 気泡内の不活性ガスとしては二酸化炭素が最も消火時間が短く、消火の効率が低い。
- 5) 本実験での二酸化炭素のみでの消炎濃度が約24%であるのに対して、泡消火による二酸化炭素の消炎濃度は2～5%に減少する。
- 6) 泡が火炎に近づくと崩壊して、内部の不活性ガスがおよそ0.3～0.5m/sの速度で火炎面に流入する。不活性ガスの流入により火炎は後退し消火に至る。

以上のことから、不活性ガスを含む泡消火法は不活性ガスのみの消火に比べ、消炎濃度を大幅に下げることが可能で、人体への安全性が向上することが確認された。本研究で得られた成果を基本にして、平成13年度からガスフォーム消火装置の製品開発が民間企業との共同研究として開始することになった。

参考文献

- (1) 飼ほか 5 名, ガス系消火剤放出実験における平行濃度その 1) ~その 3
日本火災学会研究発表会概要集, 246-259 (1995)
- (2) 自治省消防庁消防研究所, ハロン代替物質の消火性能評価に関する研究委員会報告 (1995)
- (3) Venkatesh,S., Ito, A., Saito, K.. and Wickman, I. S., 26th Symposium
(Inter-national) onCombustion,1437-1443(1996)
- (4) Ito, A., Nishi,Y., Shimasaki,S. and Saito, K., 2nd International
Symposium on Scale Modeling, 133-145(1997)
- (5) 伊藤昭彦, 島崎真一, 大波多幸司,
小型プール火災の火炎基部構造と空気流入機構, 日本火災学会論文集,
第 50 巻, 第 1 号, (2000), pp. 13-22.
- (6) 伊藤昭彦, 西雄一, 島崎真一,
小型プール火災の間欠火炎構造と空気流入機構, 日本火災学会論文集,
第 50 巻, 第 1 号, (2000), pp. 23-30.