

2次元燃料液滴群の群燃焼発現メカニズムの解明

山口大 三上真人, 日本大 野村浩司, 九州大 森上修, 名古屋大 梅村章,

宇宙航空研究開発機構 菊池政雄, 依田真一

Elucidation of Group Combustion Excitation Mechanism of Two Dimensional Fuel Droplet Cloud

Masato Mikami

Yamaguchi University, Ube, Yamaguchi 755-8611

E-Mail: mmikami@yamaguchi-u.ac.jp

Hiroshi Nomura, Osamu Moriu, Akira Umemura, Masao Kikuchi, Shinichi Yoda

Nihon University Kyushu University Nagoya University JAXA

Abstract: The objective of the present research is to improve understanding of group combustion excitation in randomly-distributed droplets by applying the research results on flame spread of linear droplet arrays to randomly-distributed two-dimensional droplet cloud.

Key words; Microgravity Combustion, Droplet Cloud, Group Combustion

1. はじめに

液体ロケット, ジェットエンジンおよびガスタービンなどのように液体燃料を連続燃焼させる場合, 安全に安定的に燃焼させるためには噴霧火炎基部において連続供給される噴霧中の燃え広がりおよび群燃焼の発生が必要である. 群燃焼発生による噴霧の安定燃焼を試行錯誤によらずに制御するためには, 噴霧を構成する液滴間の燃え広がり機構を正確に理解し, それを噴霧全体に展開していく必要がある.

本研究では1次元等間隔液滴列燃え広がりの研究成果を, ランダム分散液滴群へと展開することにより, 液滴のランダム分散効果を考慮した噴霧における群燃焼発現メカニズムの解明に向けた知見を得ることを目的としている.

2. パーコレーションモデル

液滴列の燃え広がりの知見を液滴がランダム配置された噴霧燃焼へと展開するための足がかりとして, パーコレーション理論を用いた液滴群の燃え広がりモデルの構築を行った. パーコレーション理論とは, 格子点上にランダムに配置された粒子のつながりを確率的に示す理論である. 格子線上に存在する粒子数が少ない場合は, 粒子同士のつながりが小さいが, 粒子数が増えると粒子同士のつながりは大きくなり, 格子全体にわたる巨大なクラスタを形成するようになる. パーコレーション理論を噴霧燃焼に適用すると, 粒子は燃料液滴, つながりは火炎の燃え広がりと考えることができ, 巨大クラスタの発生は噴霧全体にわたる燃焼の発生, つまり群燃焼の発生と考えることができる. 一般にサイトパーコレーションでは, 粒子が格子上で隣り合った場合にそれらの粒子はつながるとみなされ, 格子間隔は重要とはな

らない. しかし, 実際の燃料液滴間の燃え広がりでは, ある液滴間隔以上では燃え広がりが生じない燃え広がり限界が存在し, 液滴間隔は燃え広がりにとって重要となる.

図1に液滴間の燃え広がり限界距離を考慮した, パーコレーションモデルを示す. ある燃焼液滴から燃え広がり限界内に存在する未燃液滴には燃え広がり, 燃え広がり限界外に存在する未燃液滴には燃え広がらないと考える. このモデルを正方格子上にランダムに配置された2次元液滴群に適用し, 同一の平均液滴間隔の液滴群に対して群燃焼発生確率を求めた. ここでは, ある辺に存在する液滴をすべて燃焼開始させ, 図1のモデルに従い逐次燃え広がり判定を行い, 最終的にすべての辺に火炎が到達した場合を群燃焼発生とした. 燃え広がり限界距離には微小重力場での1次元液滴列の燃え広がり限界距離を用いた.

図2に示されるとおり, 群燃焼発生確率は液滴群における平均液滴間隔を増加させるとある間隔において急激に減少する. 確率0.5に対する平均液滴間隔を臨界平均液滴間隔と定義すると, 臨界平均液滴間隔は格子サイズとともに増大し, 一定値に収束する. また, 臨界平均液滴間隔は格子点間隔を減少させると減少し, ある値に収束する. 実際の噴霧には格子点は存在しないが, ある程度の大きさの格子点間隔の格子により現象の近似が可能である.

3. 微小重力実験

ランダム分散した液滴群においては等間隔液滴群と異なり，液滴の粗密差が存在する．特に臨界平均液滴間隔付近では液滴群の粗密差が大きい．間隔の小さい液滴間では干渉効果により未燃液滴への局所燃え広がり限界距離が変化することが予想される．液滴干渉がそれに隣接する未燃液滴への局所燃え広がり限界距離に与える影響を調べるため，不等間隔燃料液滴列の燃え広がり実験を微小重力場において行った．図3に液滴列の配置を示す．液滴Iに着火し，液滴BとAによる干渉燃焼が生じた場合の液滴AからLへの燃え広がり可否を調べ，局所燃え広がり限界を調べた．図4に S_{BA}/d_0 に対する液滴AL間の燃え広がり状態を示す．燃え広がり可否の状態の間に燃え広がり限界が存在する．液滴A, L間の燃え広がり限界距離は液滴B, A間の干渉効果により増加していることがわかる．この局所燃え広がり限界距離の増大を図1のパーコレーションモデルに考慮することにより，臨界平均液滴間隔が増大することが図5からわかる．

4. まとめ

パーコレーション理論をランダム分散液滴群の燃え広がり適用し，微小重力場での液滴列燃え広がり知見から液滴群燃焼発現に関する知見を得た．特に，臨界平均液滴間隔付近における液滴群の粗密差に伴う局所燃え広がり特性が群燃焼発現特性に影響していることがわかった．この知見の大スケールの液滴群への適用可能性については長時間微小重力場における検証実験が望まれる．

謝辞

本研究は(財)日本宇宙フォーラムが推進している「宇宙環境利用に関する公募地上研究」プロジェクトの一環として行われたものである．ここに記し謝意を表す．

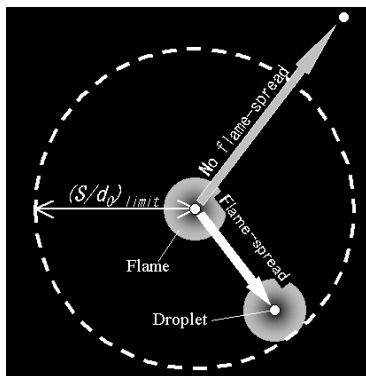


Fig. 1 Percolation model considering local flame-spread-limit distance.

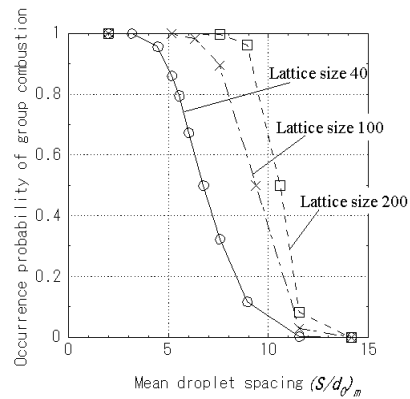


Fig. 2 Dependences of occurrence probability of group combustion on mean droplet spacing.

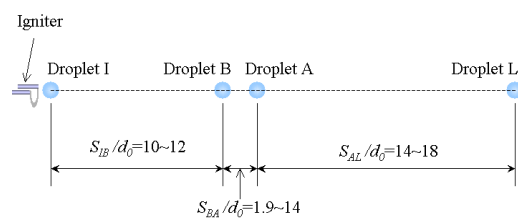


Fig. 3 Droplet array configuration for microgravity experiments.

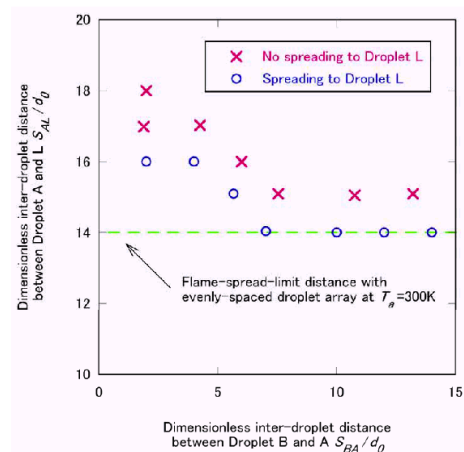


Fig. 4 Effect of droplet interaction on local flame-spread limit distance.

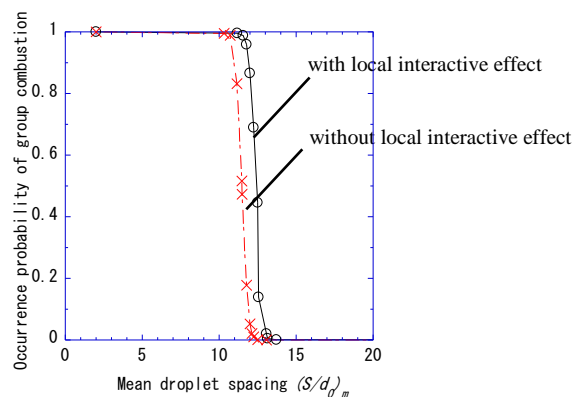


Fig. 5 Occurrence probabilities of group combustion with and without local interactive effect.