

火災旋風の発生条件～炎の配置に注目して～

兵庫県立加古川東高等学校

物理A班

本研究のポイント

- ・ 炎の並びがつくる「上昇気流の壁」が火災旋風を発生させる一因であることを明らかにした。
- ・ どのような炎の配置が、火災旋風を発生させやすいのかを明らかにした。
- ・ 火災旋風を発生させる風の流れを可視化した。

火災旋風とは

- ・ 炎が、螺旋状に渦を巻き、高く上がる現象。
- ・ 旋風を伴うことで、さらに火災が大きくなる。
- ・ 炎の高さが高くなることで、飛び火が通常の火災より遠くに飛散し、延焼の拡大をまねく。
- ・ 関東大震災(1923年)で起きた火災旋風では、約4万人が亡くなったとされている。⁽¹⁾



図1 実験1-1で発生した火災旋風

研究の目的・動機

- ・ 発生メカニズムや発生条件は、完全にわかっていない。

➡ 火災旋風の発生条件を明らかにする。
(火災旋風の防止や消火対策・救助対策につなげる。)

キーワード

【自然風】

自然に吹いている横風。
実験2・実験3では扇風機から送る風を自然風とする。

【向火風】

炎の上昇気流(図2の水色矢印)に引き込まれるようにして吹く風。

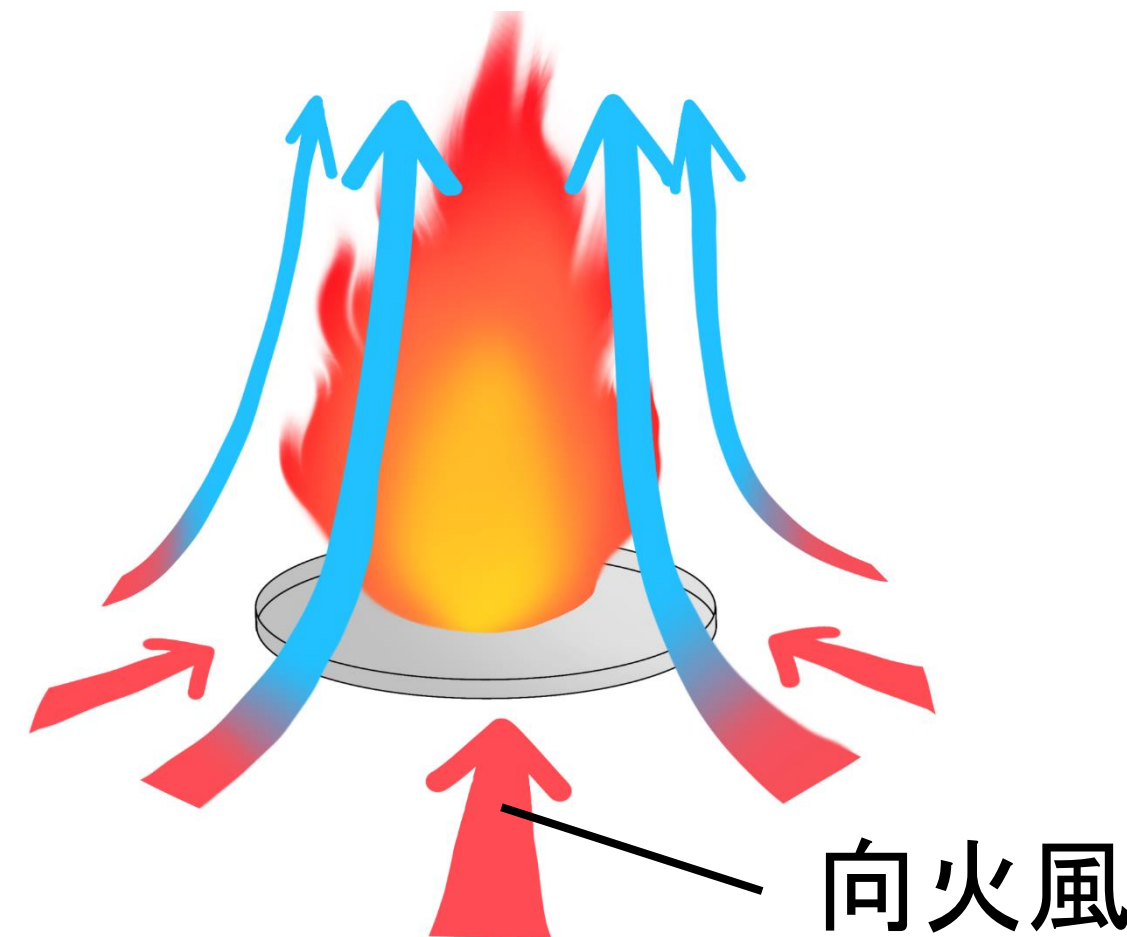


図2 向火風を示した図

先行研究

- 1 炎に向かって自然風(横風)が吹いているときに発生する。⁽³⁾
- 2 一定方向に吹く自然風(横風)と炎の相互作用によって発生する。⁽³⁾
- 3 実験室規模や野外実験で、火災旋風を発生させるには、炎の近くに壁を作って風向きを制限する方法が知られている。⁽²⁾⁽³⁾
- 4 実験室規模では、炎の両側に逆向きの風を送ることで火災旋風を作る方法も知られている。⁽⁴⁾

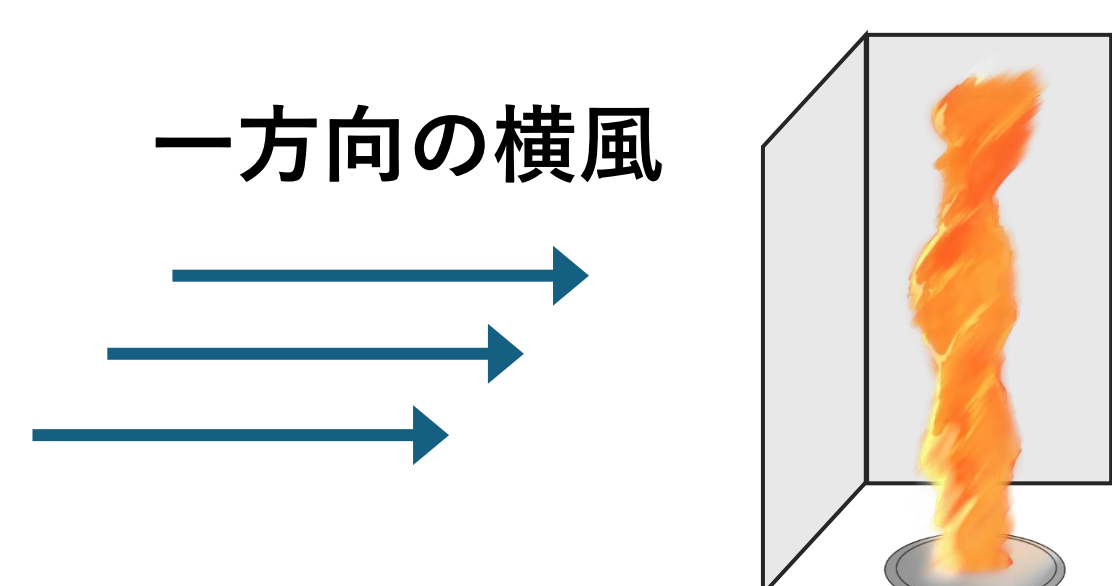


図3 物理的な壁を用いた火災旋風の発生実験⁽²⁾⁽³⁾

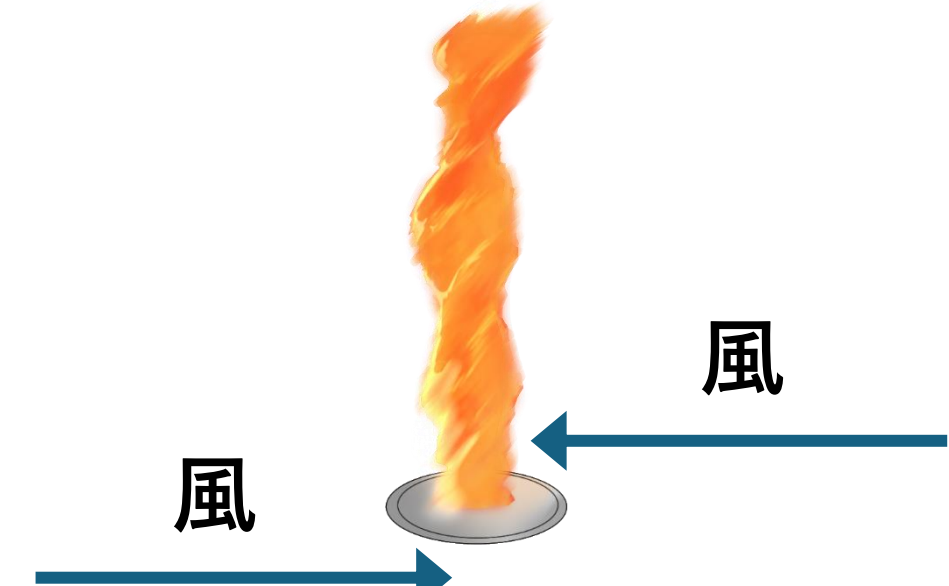


図4 炎の両側に逆向きの風送る火災旋風の発生実験⁽⁴⁾

仮説

先行研究で使われている「壁」が、物理的なものでなく、炎による上昇気流でも、火災旋風が発生する。

実験1

【目的】

炎の周囲に逆向きの風が吹くことによって火災旋風が引き起こされることを確認する。

【実験方法】

実験1-1

- 1 エタノール10mLを注いだステンレス皿(直径10cm)の四方を、アクリル板で囲む。このとき、空気の通り道として5cmの隙間を四隅に作(図5)。隙間の開け方を、パターン①とパターン②に分けて、実験を行う(図6)。

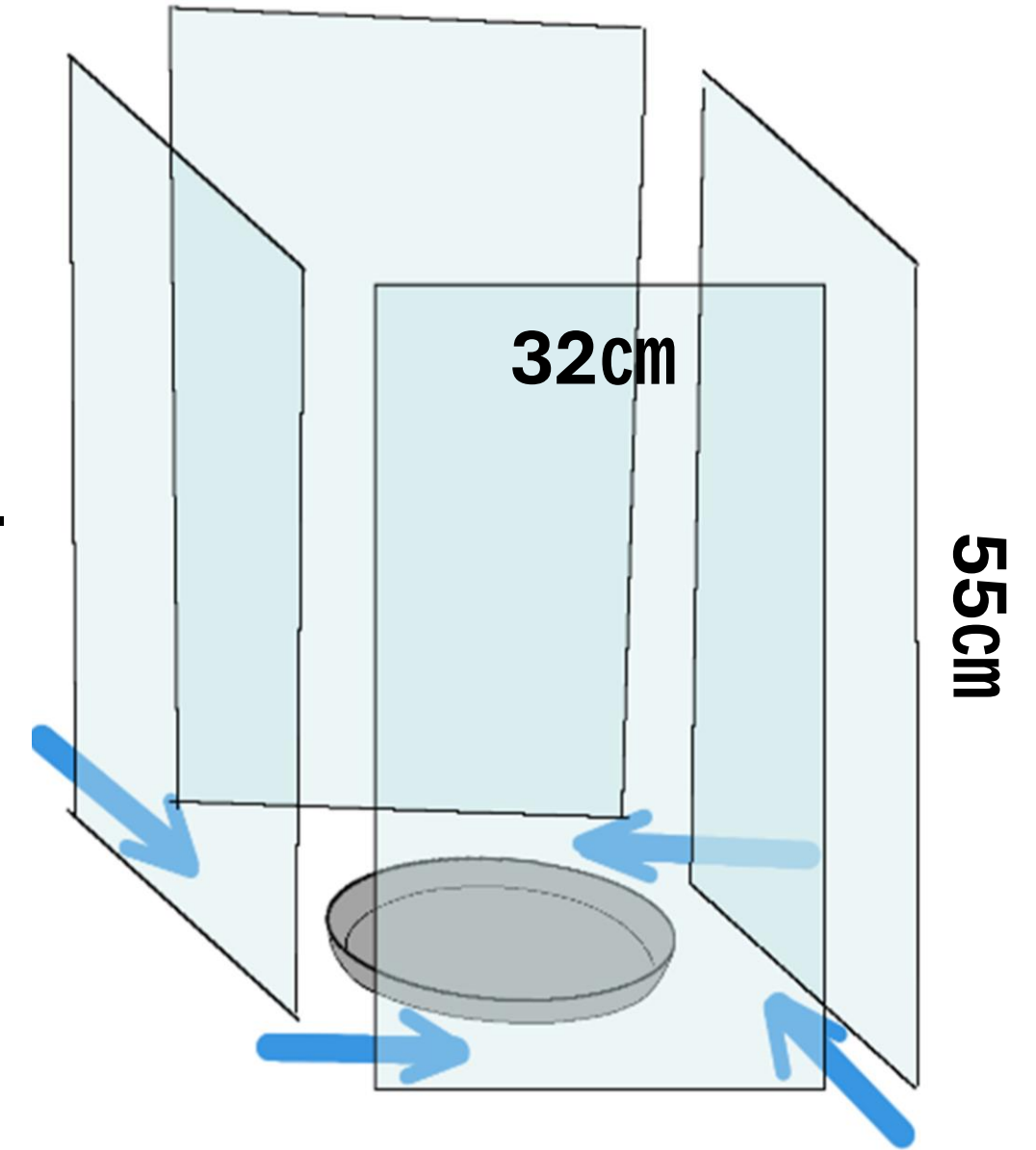


図5 実験装置。炎の周りに風が吹くように隙間を開けた。

- 2 エタノールに火をつけて、火災旋風の回転する向きを調べる。

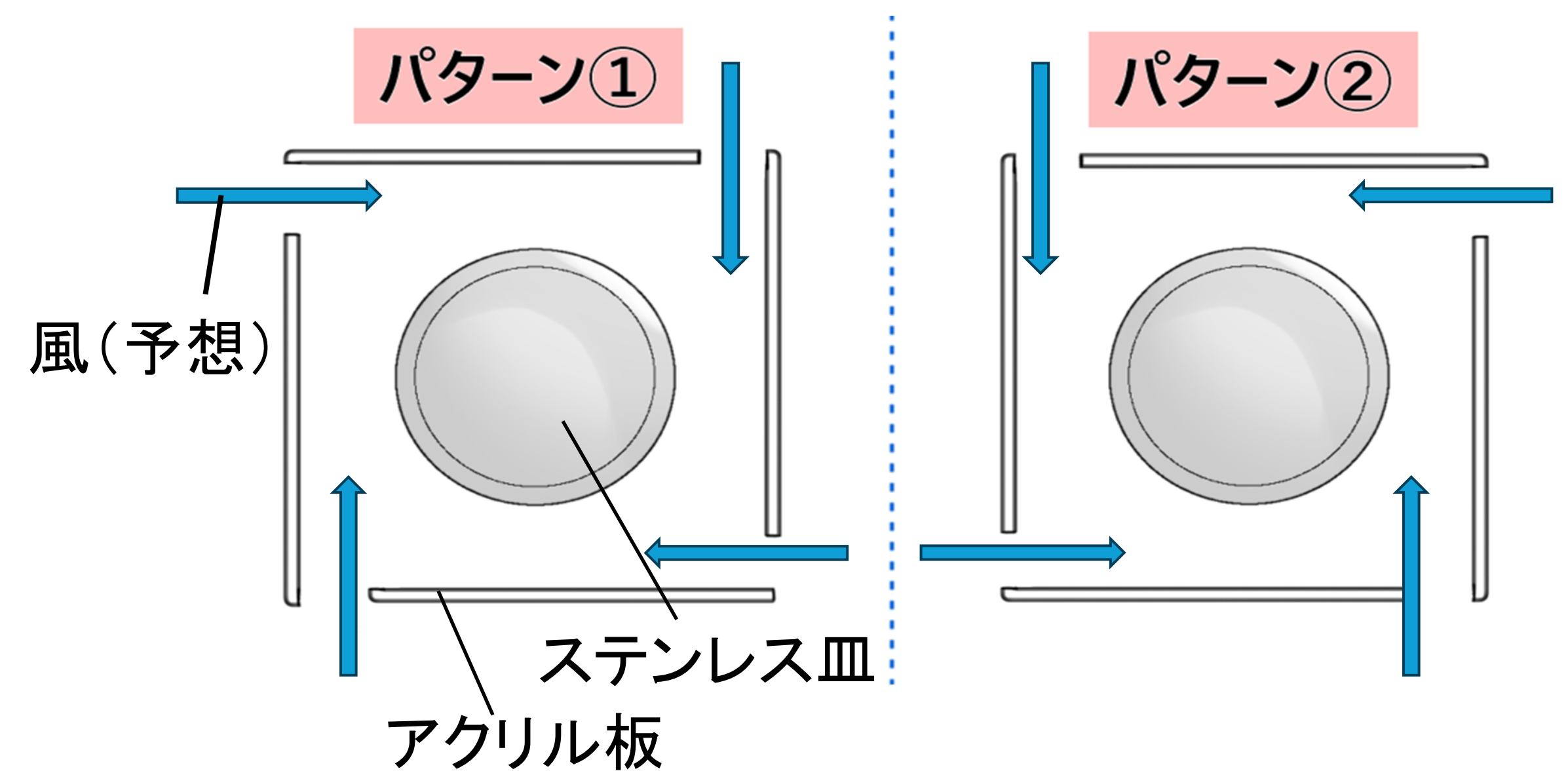


図6 隙間の開け方。実験装置に吹き込む風の向きを変えるため、2通りの隙間の開け方で実験した。

実験1-2

- 1 固体二酸化炭素を湯が入ったビーカーに入れ、それによって発生した霧が図5の実験装置の隙間から入るように、ビーカーを配置する。
- 2 図5のステンレス皿のエタノールに点火する。霧の流れ方(風の向き)を観察する。パターン①とパターン②の通り、アクリル板を動かして、風の向きが図6の予想と一致しているかを確認する。

【結果】

実験1-1 火災旋風の回転する向きは、パターン①では時計回り、パターン②では反時計回りであった(図7)。火災旋風は吹き込む風と同じ回転方向であった。

実験1-2 図6で予想した通りの風が入っていき、炎の周囲に風が吹きこんだ後に火災旋風が発生した。また、アクリル板の置き方を変えると、“吹き込む風の向き”と“火災旋風の回転の向き”が変わった。



図7 パターンを変えることで、火災旋風の回転方向が変わった。

図8 吹き込んだ風が太い青矢印のように、逆向きに吹くことによって、火災旋風が発生する。

【考察】

- ・ 炎の周りに風が吹いた後で、火災旋風が生じた。
- ・ 炎の周りの風向きに応じて、火災旋風の回転方向が決まった。

➡ 火災旋風を発生させる条件は、炎の両側に逆向きの風が吹くことである。

実験2

【目的】

「上昇気流の壁」によって、炎の両側に逆向きの風が発生し、火災旋風が発生するかを確かめる。
火災旋風が起きやすい「炎の配置」を調べる。

【実験方法】

- 1 図9のように、炎の配置に風を送る風洞を設置する。
 - 2 エタノール10mLを注いだステンレス皿(直径10cm)を様々な配置に並べる。それらの配置は、3つの実験群に分類される(図10)。
 - 3 風洞によって整流した0.5m/sの風を送る。エタノールに着火し、火災旋風が発生するかを観察する。
- ※ 一つの配置につき、実験を10回行う。ただし、5回火災旋風が発生しなければ、その配置については実験を中断する。

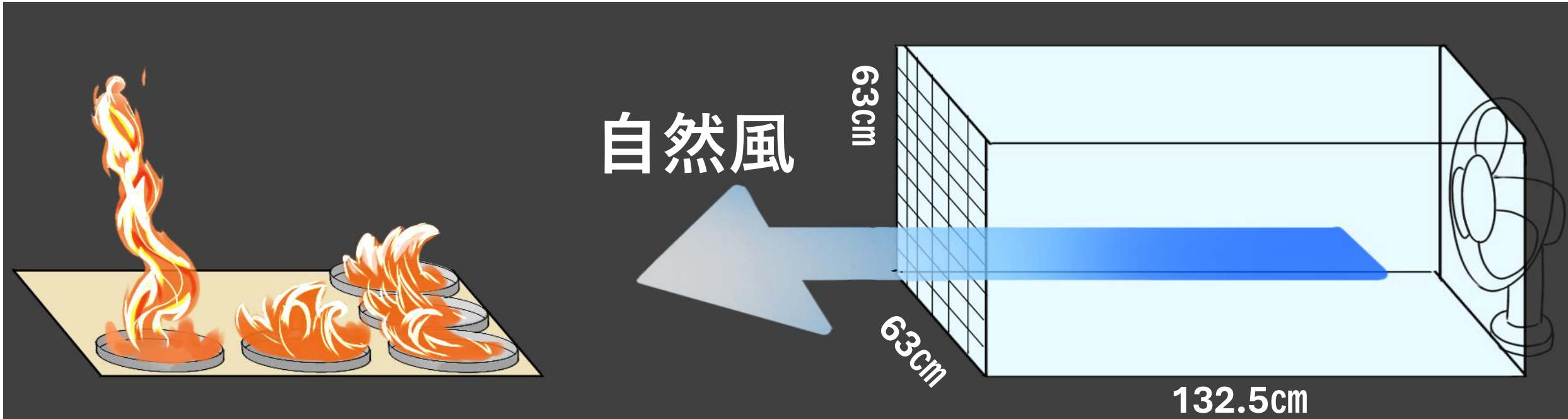


図9 実験装置。炎の配置に、風洞で整流した風を送る。

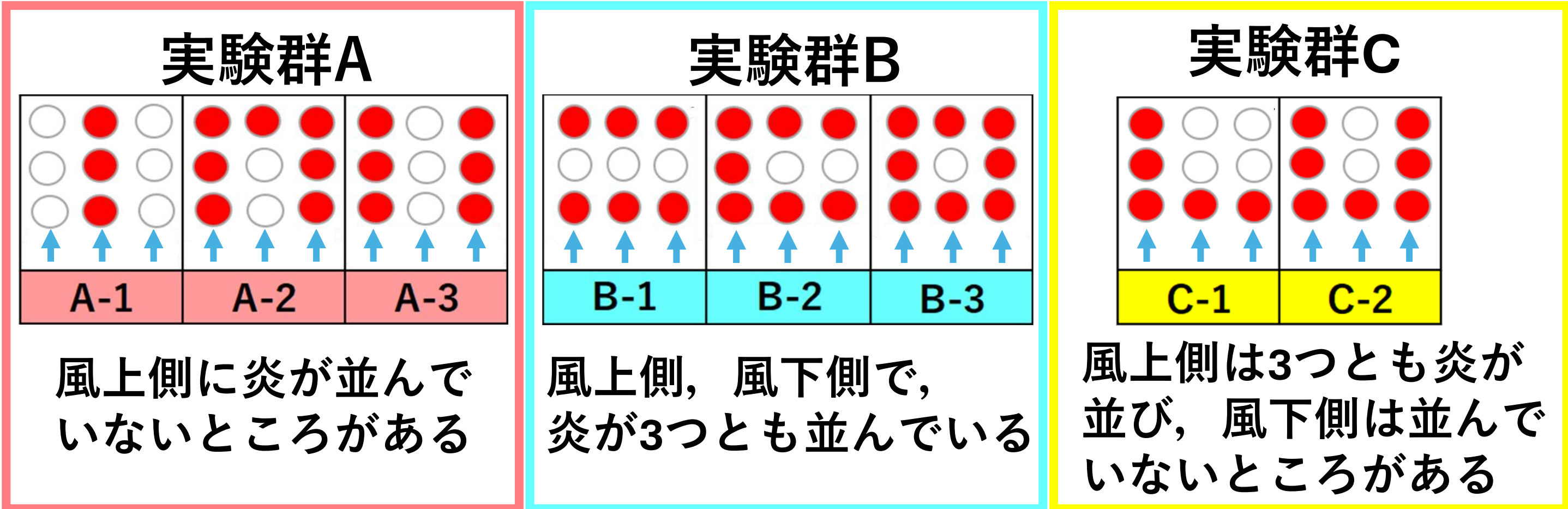


図10 炎の配置。赤丸の位置にエタノールを注いだ皿を配置した。「自然風」↑（風洞から吹く風）は、図の下側から送られる。

【結果】

- ・ C-1(以降L字型と呼ぶ)とC-2(以降U字型と呼ぶ)で火災旋風が発生しやすい(表1)。

表 1 実験結果

回数 配置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A-1	×	×	×	×	×					
A-2	×	×	×	×	×					
A-3	×	×	×	×	×					
B-1	○	×	○	○	○	○	×	×	×	×
B-2	○	×	×	×	○	○	×	×		
B-3	○	×	×	×	×	○	○	○	×	
C-1	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○
C-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ ... 火災旋風が発生
× ... 火災旋風が発生しなかった

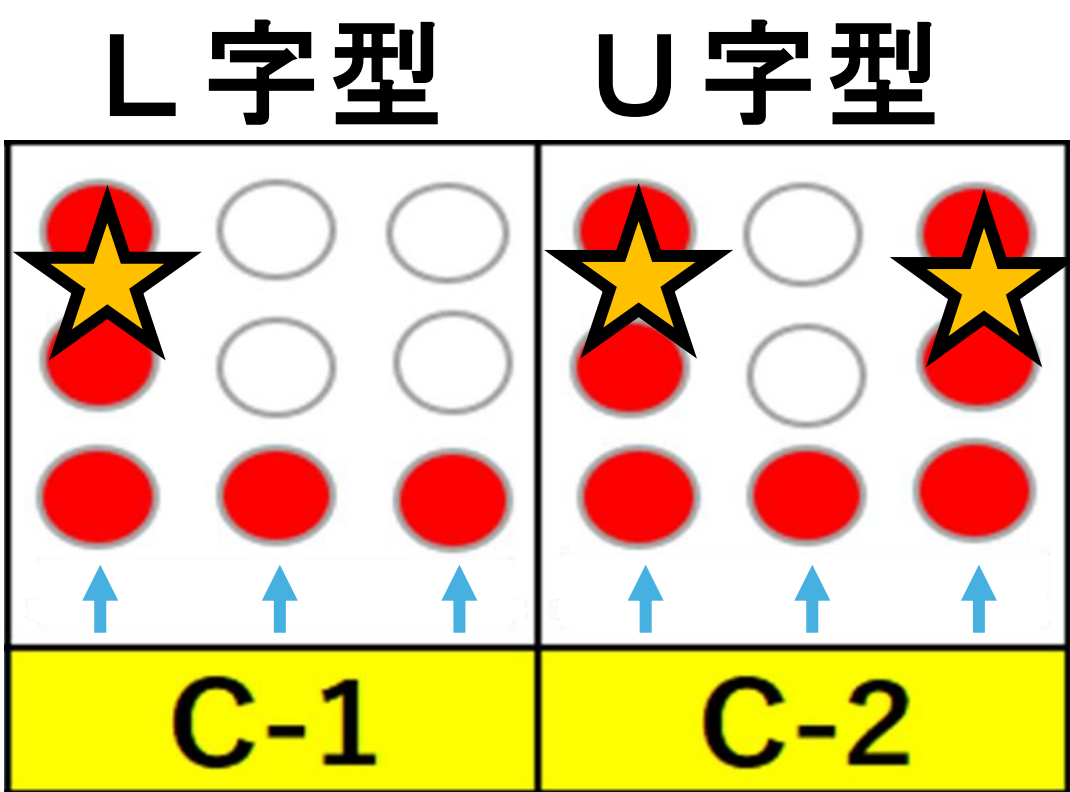


図11 火災旋風の発生位置★。「自然風」を遮るように並ぶ炎の風下で火災旋風が発生した。

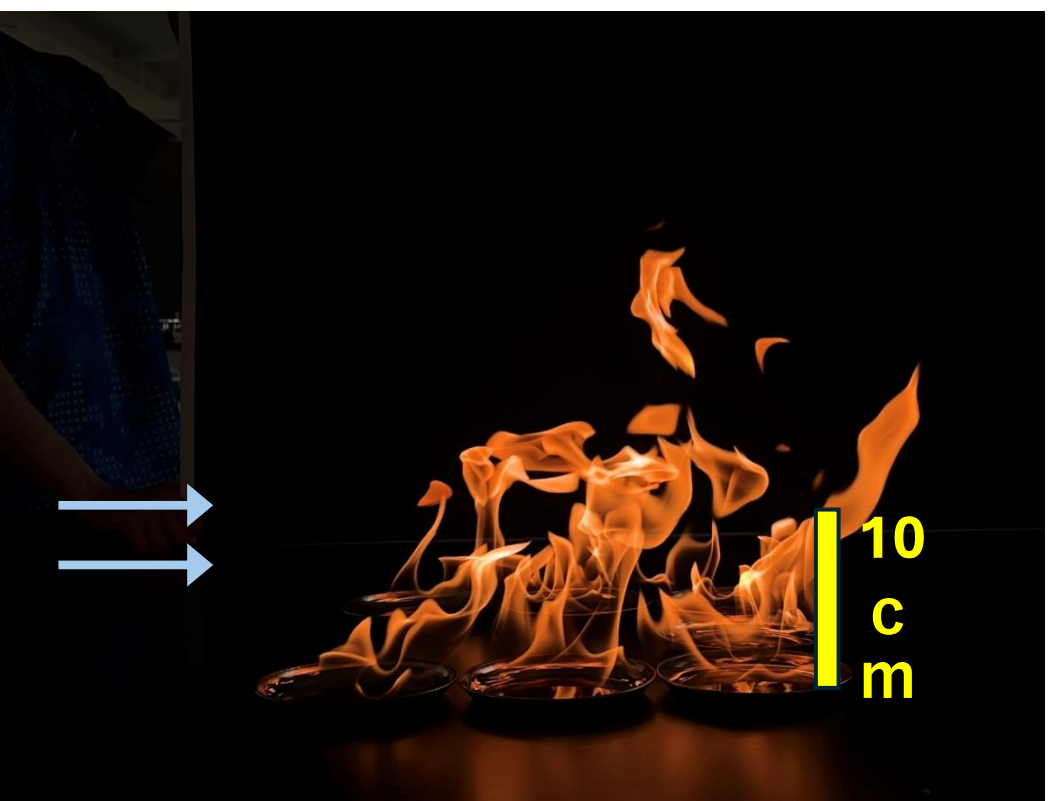
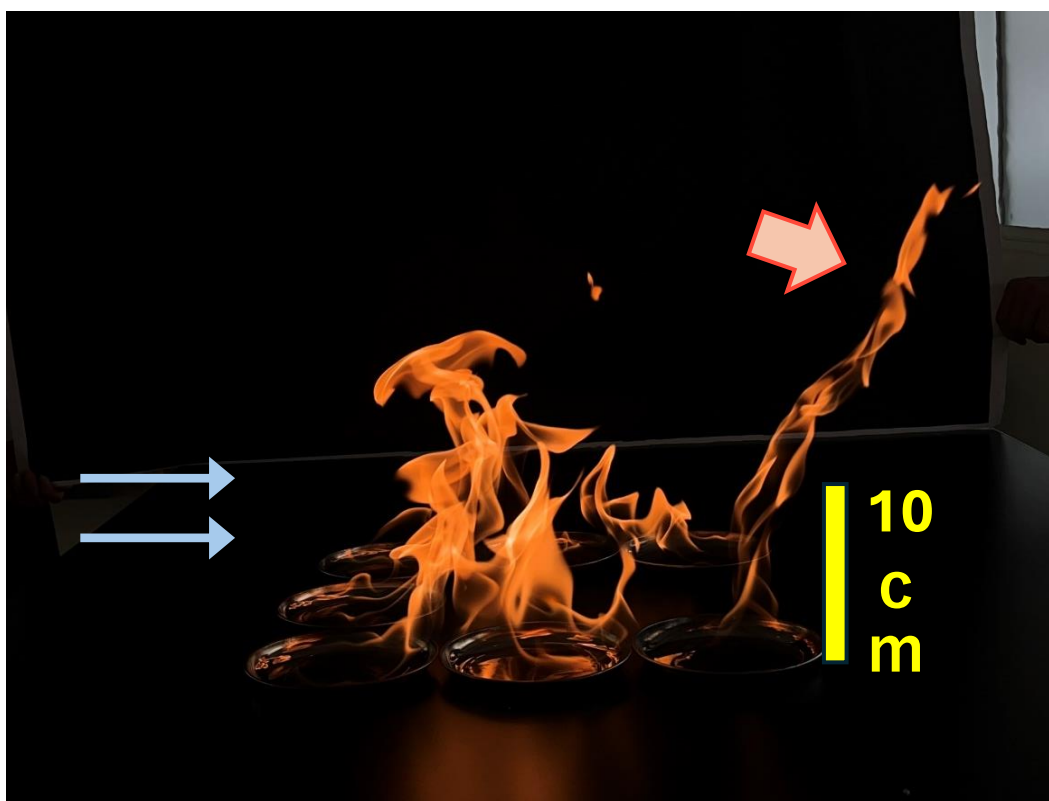


図12 左：C-2，右：A-2での炎。自然風は左側から吹いている。C-2では、風下の炎➡が渦を巻き高くなっている。

【考察】

- ・ 実験群Cで、有意に火災旋風が発生した。図11の★の両側では、「自然風」と、それと逆向きの「向火風」が吹いていると考えられる。

➡ 「上昇気流の壁」が自然風（風洞からの風）を遮っている。
➡ 「上昇気流の壁」の風下側では、自然風とは逆向きに「上昇気流の壁」に向かう「向火風」が、吹いている。

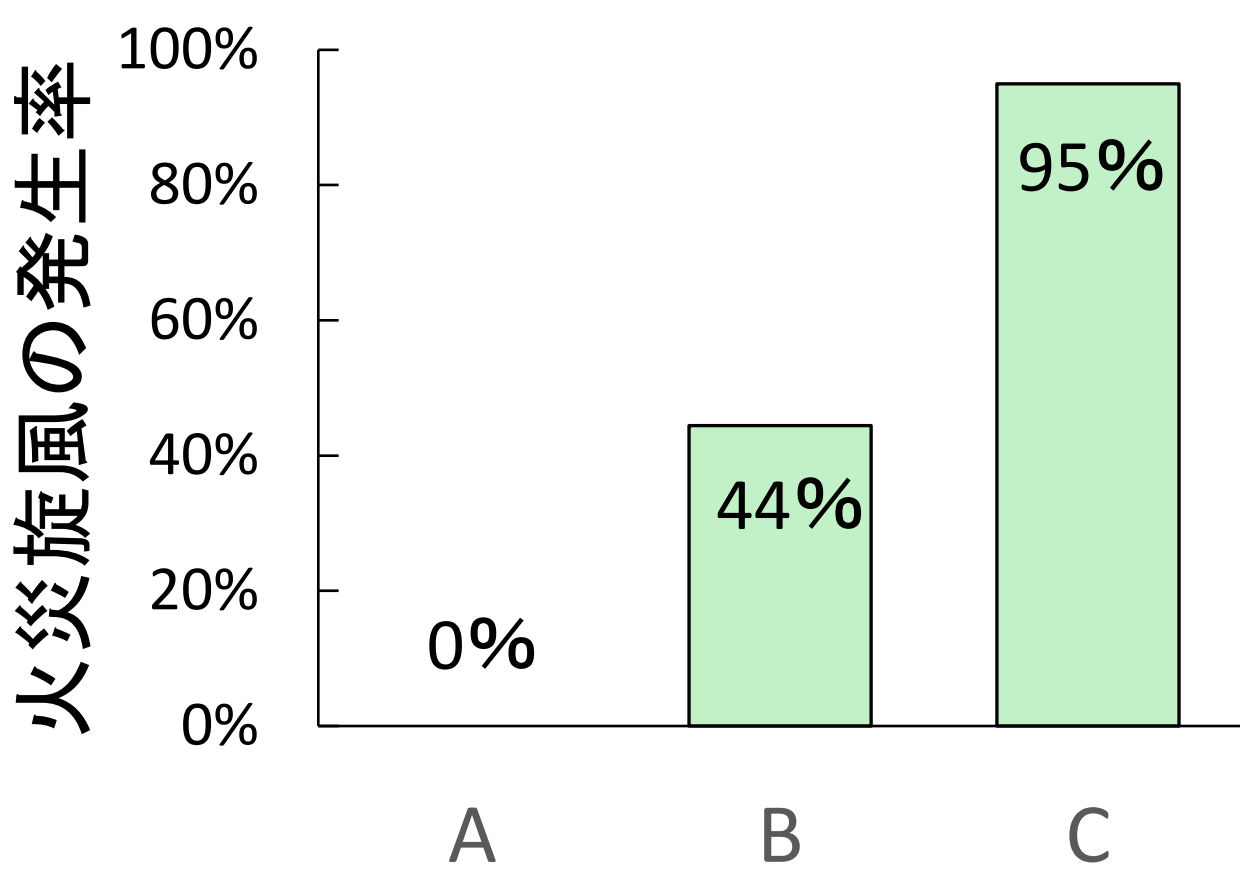


図13 実験群別の火災旋風発生率。独立性の χ^2 検定の結果、有意差が確認された。

実験3

【目的】

実験2で分類した配置において、その想定通りに風が吹いていたのかを確かめる。

【実験方法】

- 1 実験2と同じ装置を作る。
 - 2 ステンレス皿の周辺に固体二酸化炭素と湯を入れたビーカーを置き、空気の流れを可視化する(図14)。
- ※ 実験2のA-2、C-1、C-2の配置に関して実験を行った。

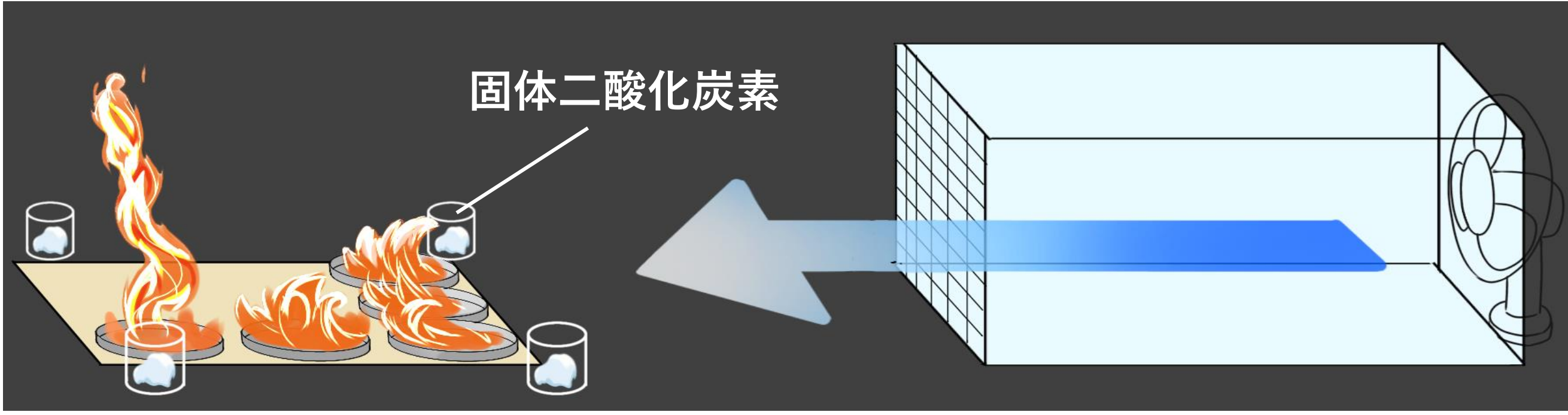


図14 実験装置

【結果】

- ・ U字型の配置において、配置の外側を吹く「自然風」と、配置の中心に向かって吹く「向火風」(自然風と逆向き)が観察された。
- ・ L字型でもU字型と同様の風が流れていた(図15)。
- ・ A-2の形では、「自然風」は観察されたが、逆向きの「向火風」は観察されなかった。

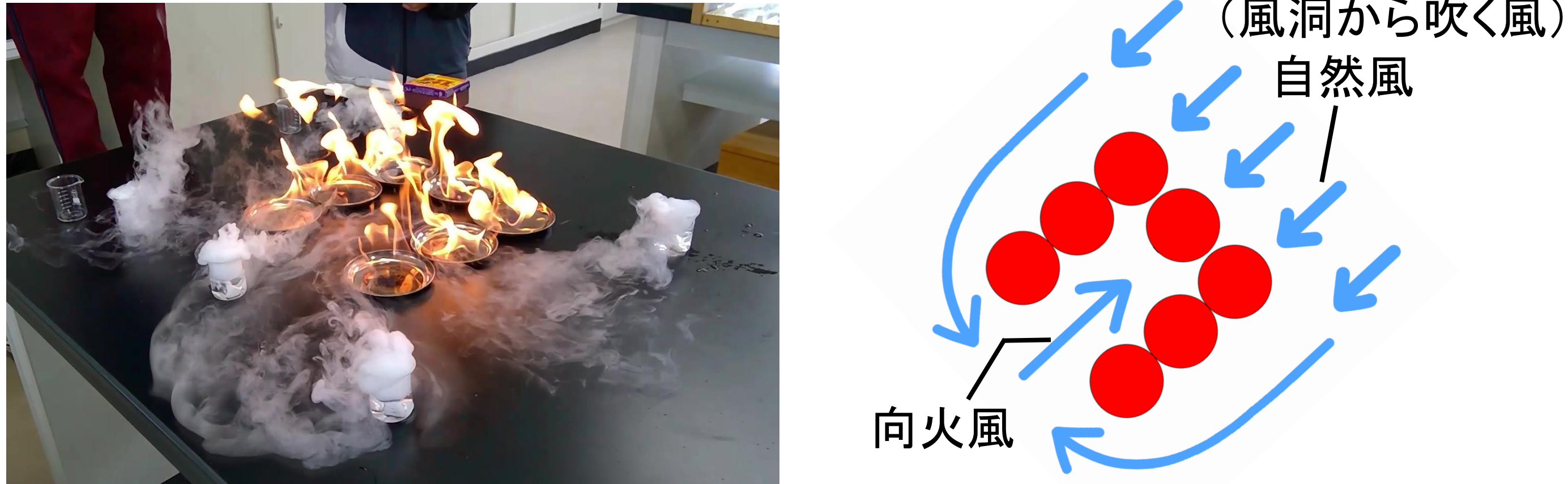


図15 左：C-2(U字型)の実験写真。右：この実験での空気の流れ。「自然風」と逆向きの「向火風」が観察された。

【考察】

実験2の【考察】で述べた通り、「自然風」と「向火風」(自然風と逆向き)の2つの風によって、火災旋風が発生したと考えられる。

結論

炎による「上昇気流」が「自然風」に対して壁のように振る舞い、同時に「上昇気流」に吹き込む「向火風」が自然風と逆向きに吹くことで、火災旋風が発生する。

炎の配置が、L字型やU字型のときに、火災旋風が起こりやすい(図11)。

今後の課題

野外での大規模実験によって、仮説の検証を行う。

謝辞

東京理科大学 創域理工学研究科国際火災科学専攻 桑名一徳 様
総務省消防庁消防大学校消防研究センター 技術研究部大規模火災研究室 篠原雅彦 様

本研究を行うにあたり、火災旋風に関するご指導をいただきました。謝意を表します。

参考文献

- 1) 相馬清二, 被服廠跡に生じた火災旋風の研究,1975
- 2) 関本孝三,桑名一徳, 屋外における火災旋風実験とその模型実験, 平成26年日本火災学会研究発表会,東京,2014
- 3) 桑名一徳, 火災旋風:火炎高さ増大機構と大規模火災での発生条件,2019
- 4) Yurie Iriyama, Kazunori Kuwana, “Moving Fire Whirls over Line Fires: Similarity to Rollup of Vortex Sheets”,2017