

■特集／FEATURE ■

—「美しい炎」を語る／A Story of the “Beautiful Flame”—

「炎の歌を聞く 8 月の杜若」を語る

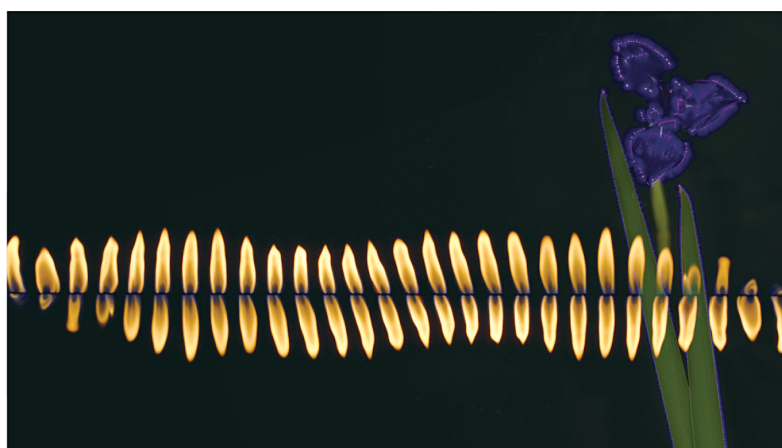
— 2022 年優秀作品賞受賞作品 —

A Story of “August Iris Flower Listening to the Song of Flame”

林 潤^{1*}・土佐 尚子²・PANG Yunian²・中津 良平²HAYASHI, Jun^{1*}, TOSA, Naoko², PANG, Yunian² and NAKATSU, Ryohei²¹ 京都大学大学院エネルギー研究科 〒606-8501 京都市左京区吉田本町
Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan² 京都大学 防災科学研究所 附属巨大災害研究センター 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 坂記念館
Kyoto University, Yoshida-honmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

Abstract: A story of making “August iris flower listening to the song of flame” were described. The photo is composed by two main components of a laminar diffusion flame array formed on a Rubens tube and dielectric barrier discharge (DBD) on iris flower. The different frequency of sinuous wave was applied to the speaker attached at the end of tube for controlling heights of the laminar diffusion flame array and the waveform appeared on the Rubens tube. The frequencies of sound wave varied from 400 Hz to 900 Hz. DBD on iris flower was achieved to express a situation that the flower is listening the songs of flames. Electrodes for the DBD were the iris flower itself and acrylic water tank. The frequency of DBD was set to 7 kHz and its applied voltage was set to 35 kV peak to peak. In the final product of the submission, the flame array was flipped vertically and arranged at the bottom. On the back of the flame array iris flower with DBD were placed to express the pose of listening to the sound of flame.

Key Words: Iris flower, DBD, Diffusion flame array



1. はじめに

「Youtube に上がってるこれ、作りたいのですが、できますか？」

土佐尚子教授に見せていただいた動画には、二次元平板に開いた多数の孔に形成される火炎群に平板側面に設置されたスピーカから音響振動を与え、平面上の火炎の長さを音に合わせて変化させるルーベンスチューブ (Rubens tube) を応用した動画だった。

土佐尚子教授は、工学の博士号を持つ国際的に知られた日本のメディアアーティストの先駆者であり、ニューヨーク近代美術館などにコレクションを持つ[1]。近年では、絵の具・オイルなどの粘度の高い液体に音の振動を与えることで、各種の色が融合しつつ飛び上がる様を、高速度カメラによって撮影することで、液体の形、液体の運動が生け花の型である (天・人・地) の三角形を形成する、音から生成したいけばな「Sound of Ikebana」(図 1[2]) を発表している。音波を用いて炎を制御することで美しい炎を表現することに興味があるとのことだった。

土佐教授に見せていただいた動画をきっかけとして、調

* Corresponding author. E-mail: hayashi.jun.7a@kyoto-u.ac.jp

べてみると, Rubens tube の作り方なる動画は複数見つかった. Rubens tube は, 管内に形成される定在波を可視化するために, 定在波が形成する圧力場によって火炎長を変化させる実験装置である. 「少なくとも, 直線のもの制作できると思いますよ」と答えたことから本作品の基盤となる項目の一つが火炎列を作成することとなった.

「これでもできますか?」

二つ目の項目は, 過去に撮影した誘電体バリア放電[3], ナノ秒繰り返し放電[4-6]で形成される火炎核の成長の動画を紹介している際に決定した. 土佐教授がかつてから興味を持っていたキルリアン写真(と呼ばれているさまざまな物体からの放電現象を撮影した画像)をヒントに, 草花からの放電を撮影することとなった.

燃焼学会の美しい炎の写真展に出品した本稿冒頭の作品は, エネルギーの美しさを表現することを目標として, 上述の二つの項目, すなわち流路内の定在波によって火炎長が変化するメタン/空気拡散火炎列の様子と, バリア放電を纏った杜若(かきつばた)を合成して作成した. 本稿では, 応募作品の内容, および撮影に至るまでの過程について紹介する.



Fig. 1 Sound of Ikebana.

2. 撮影対象の選定と実験装置および方法

2.1. ルーベンスチューブ (Rubens tube)

本作品を撮影するために用いた Rubens tube の概略図を図 2 に示す. 装置は, 燃料ガスシリンダ, Rubens tube, スピーカ, アンプ, ファンクションジェネレータで構成される. Rubens tube は直管で作成することとし, 加工の簡素化と短期間で製作することを目的として, 矩形流路を選択した. 燃料入口には, 酸化剤との混合も可能なレデューサを取り付け, 流路面には, 火炎列を作るために直径 1 mm の噴出孔を 20 mm 間隔で一列に配置した. 管長はレデューサを除いて約 1 m である. 燃料にはメタン, 酸化剤には空気を用いた. 撮影に適切な火炎長とするために, 燃料流量は決定せず, レデューサの直前に設けたニードルバルブによって制御した. また, 上述の通りレデューサには, 燃料と酸化剤を予混合化して流路に供給するための酸化剤導入部が設けてあり, 形成する火炎列を予混合火炎にすることも可能である. 本作品では, より火炎の発光を目視しやすくすることを目的として, 層流条件の拡散火炎列を選択し, 撮影領域内に火炎長が収まるように燃料流量を調節した. また, 本作品を撮影するために作成した Rubens tube では, 周囲流を用意していないため外乱を防ぐために, 撮影時は排気ダクト以外の空調を停止して試験を行った.

燃料入口の反対側はゴムシートで封止し, スピーカ (Bowers & Wikins, 600 series) から発生する音波の振動を管内に伝える機構とした. 管長 (レデューサがあるため概算値を使用), 室温の空気中の音速を考慮して, 撮影視野内に層流拡散火炎の列が形成する波を複数形成するために, 音

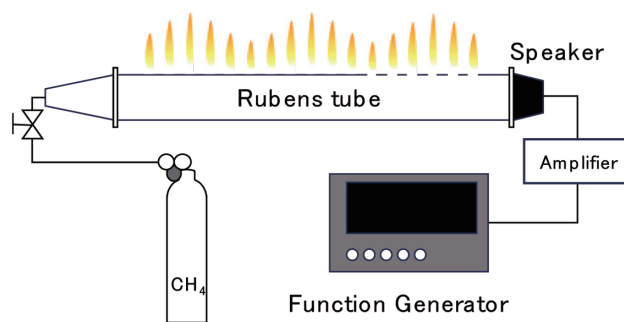


Fig. 2 Schematics of the Rubens tube.

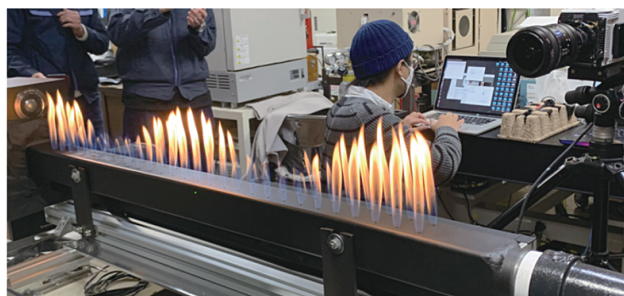


Fig. 3 Imaging of the flame array on the Rubens tube.

の周波数を正弦波で 400 Hz から 900 Hz まで変化させた。なお、正弦波は自作のファンクションジェネレータを用いて作成した。

試験時の様子を図 3 に示す。図 3 中の火炎は別途制作した火炎列を 2 列にした Rubens tube である。音圧が低い条件では火炎長の変化が少ない、一方で、音圧を強く、周波数を低く設定すると、音源近くの火炎が吹き飛ぶなどの調整を行うことで、作品の火炎列の様子を撮影した。撮影は、高速度カメラ (NAC MEMRECAM HX-3 およびレンズ (ZEISS コンパクトズームレンズ CZ.2 28-80mm/T 2.9)) を用いた。撮影速度は 2000 fps とし、露光時間は 50 ms である。

2.2. 放電する杜若

放電する杜若の撮影は、誘電体バリア放電の電極を変更することで行った。誘電体バリア放電 (バリア放電) は、電極間に誘電体を介在させ、交流電圧をかけた場合にギャップ間で生じる放電である。誘電体を挟んでいるため、誘電体上に電荷が蓄積されるために逆電解が発生してグロー放電の状態では放電は停止し、アーク放電には移行しない。誘電体は両側の電極に配置することも可能だが、本作品においては、片側の電極は植物とすることは決定しているため片側のみ誘電体を配置した。片側の電極となる植物には、杜若を選択した。杜若はいけばなの中でも比較的平 (たいら) で花や葉が、アクリル版に接着面が付きやすく実験効果が可視化しやすいことから、音の周波数に呼応して時間と共に変化する火炎列の様子を火炎が歌を歌っている様子に見立て、炎の歌を聞く様子を表現するために採用した。

杜若から全体に放電する様子を撮影するためには、杜若のサイズ (500 mm × 500 mm) の誘電体および電極が必要となる。本作品では、誘電体にアクリルを用いることとし、アクリル容器に食塩水を入れ電極とした。もう一方の電極である杜若から放電する様子を観察することに成功した。図 4 に放電する杜若の撮影セットアップの概要を示す。

誘電体バリア放電を形成するための電源の条件を選定するために、ファンクションジェネレータ (NF, Wave Factory, WF1948) およびアンプ (NF, ONS58183-1) を用いて 7 kHz の正弦波を印加し、徐々に印加電圧を上昇させ、短絡が生じない条件において撮影を行った。図 5 は、杜若への放電撮

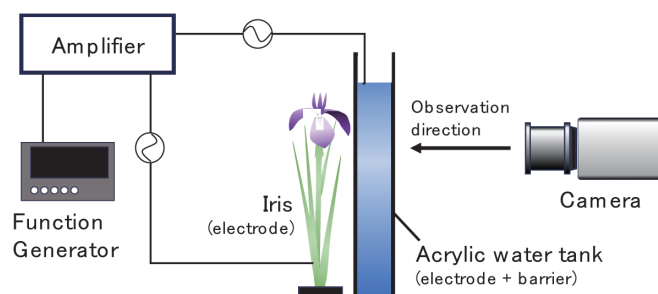


Fig. 4 Schematics of the imaging setup of dielectric barrier discharge on the iris.

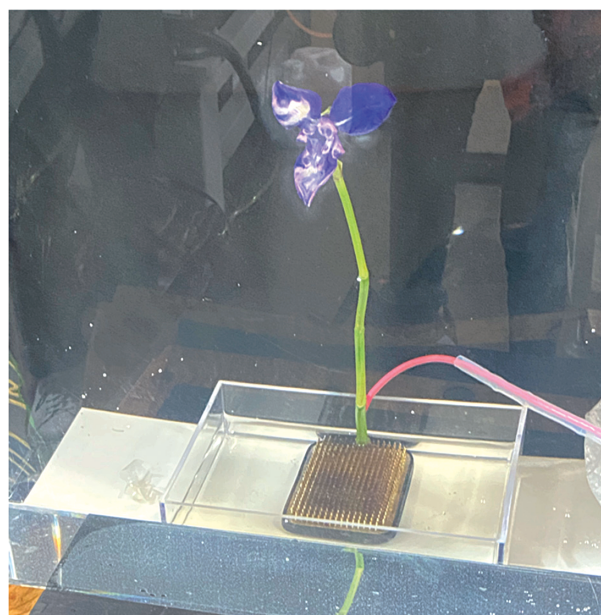


Fig. 5 Imaging the DBD on iris flower with acrylic water tank.

影の様子であり、アクリル水槽の後ろに配置した杜若と撮影する著者らの姿がアクリル水槽に反射して映っている。図 6 は撮影された放電している杜若の画像である。放電後には杜若が放電による熱で白化する現象がみられた。

3. 応募作品の作成

定在波の圧力分布が可視化された炎と放電する杜若を合わせて作品とすることは、土佐教授のアイデアで議論を開始してすぐに決定した。初期には、火炎を上側一列とし、杜若の配置を調整して作成した。その後、燃焼学会の美しい炎の写真展であることから、火炎列の存在を強調することとなり、上下に反転した火炎列を配置する形へと変更した。さらに杜若と気中放電の色を鮮明にすることを目的として、実験室内を簡易暗室として撮影を行った。目標としては Rubens tube 上に形成される火炎を音楽で制御することではあったが、音楽を音源に使用した場合には、波形が撮影領域に現れる周波数帯が、可聴周波数の高音域であること、低音域の波長では火炎全体が瞬間的に浮き上がってしまうことなど、外乱が多く、動画としての表現は可能なものの、静止画の作品としては単一周波数が適しているという結論に至った。

一方で、周波数によって変化する火炎の様子を表現することを諦めなくなかったことから、応募書類に QR コードを付して動画の閲覧することを可能とした。動画を作品につけることは、作品の動的挙動を確認していただくために一定の効果があったものと考えた。

4. おわりに

本作品は、土佐教授、中津教授、Pang 助教との共同作品である。全く異なる分野との取り組みは大変刺激的であった。「メタンの火炎では基本的に青からオレンジ色しか出せない」点や、「放電は大気圧環境では、空間的に広い範囲に広げることは難しい」点など、装置や環境の限界によって、土佐教授が生み出すアイデアに対して的確に応えることができなかったことは課題として残ったが、美しい炎の写真展に出展できる作品が完成し、結果として優秀作品賞を頂戴できたことは大変光栄であった。

本作品は、燃烧現象を研究する際に得られる美しい炎の様子を撮影した他の応募作品とは異なり、燃烧を表現の一つとして扱った作品である。本稿も燃烧科学に関する言及というよりも、如何にして作品を構成したかに関する点を記載しており、他の原稿とは若干毛色が異なることが考えられるが、燃烧学会会員諸氏にとって楽しめる内容になっていることを願って本稿を終わりとする。

謝辞

本作品を撮影するにあたって、京都大学産学連携掛様には、共同作品作成のきっかけを作っていただいた。また、京都大学 教授 川那辺 洋先生、博士後期課程 汐除明君、佐古憲孝君、博士前期課程 中島昌治君ほか研究室学生各位、土佐研究室学生各位にご協力いただいた。また、本作品を撮影するための設備の製作には、大阪ガス株式会社のご協力をいただいた。ここに示して謝意を表す。

References

1. Art Innovation Tosa Laboratory,
<https://tosa.dpri.kyoto-u.ac.jp/> (2023.8.10. access)
2. Sound of Ikebana by Naoko Tosa



Fig. 6 Iris flower wearing DBD.

- <https://naokotosa.co.jp/ja/sound-of-ikebana/> (2023.8.10. access)
3. Agrawal, S., Yamamoto, S., Horibe, N., Hayashi, J., Kawanabe, H., *SAE Int. J. Engines*, 16(8): 03-16-08-0060 (2023).
4. Lovascio, S., Hayashi, J., Stepanyan, S., Stancu, G. D., Laux, C. O., *Proc. Combust. Inst.*, 37: 5553-5560 (2019).
5. Lovascio, S., Ombrello, T., Hayashi, J., Stepanyan, S., Stancu G., Laux, C., *Proc. Combust. Inst.*, 36-3: 4079-4086 (2017).