

研究成果報告書

研 究 題 目		複数の圧電ファンが作り出す誘起流の風向コントロールに関する実験的研究	実 施 年 度
			2023 年度
代 表 研 究 者	所 属	津山工業高等専門学校 総合理工学科 機械システム系	
	氏 名	細 谷 和 範 印	

1. 研究の目的・背景

圧電素子によって弾性板が団扇（うちわ）のように振動する圧電ファン（PE ファンと称す）は回転軸を持たず、コンパクトな電子機器内の冷却装置として活用が期待できる．しかしながらファンが作り出す風向きを制御することが難しい課題を有する．申請者はこれまでに図 1 の PE ファン（長さ 7 cm）を千鳥状に配置し、後流をいくつかのパターンに変化させた¹⁾．しかしながら、ファンの上下を図 2 のように板で挟むと循環する流れが卓越し、前方に送風ができなくなる問題が生じた．ファン周囲の壁による PE ファンの送風特性については、すでに数値実験による評価等²⁾が行われているが、図 1 のような千鳥配置についての報告は見られない．また、複数のファンの位相差に伴う送風特性も未解明な点が多い．そこで本研究では、3 枚の PE ファンユニットの動作に図 3 の同期及び逆位相の動きを与えた際の流れパターンを把握すること、また周囲に壁を設置し、通気口の形状と位置による断面通過流量を調べることを目的とする．さらに、本研究ではファンの数を三枚から五枚に増加し、Y 字形や Z 字形の配置による特徴的な流れパターンの有無を調べた．#

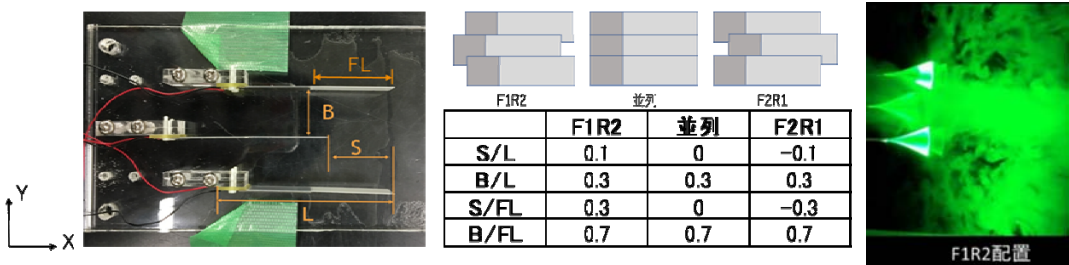


図 1 千鳥状に配置された PE ファンの配置パターン ($L = 77.5 \text{ mm}$, $F_L = 33\text{mm}$) と可視化された噴流の様子

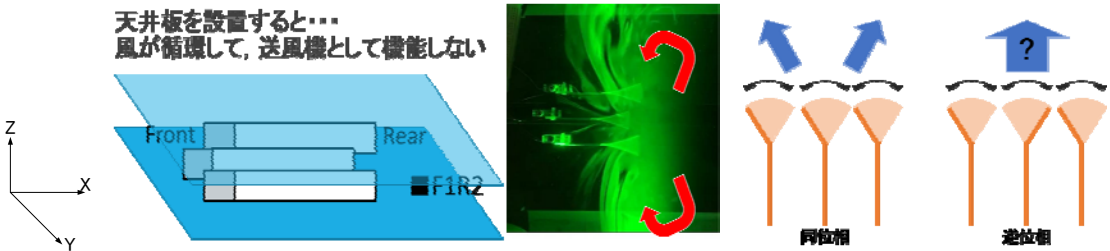


図 2 ファン上部が覆われ送風機能が低下する様子

図 3 ファンの同期と逆位相駆動

1) 細谷和範, 葛本蓮, 複数のピエゾファンによって形成される流れの可視化, 可視化情報学会シンポジウム, 2019.
2) Alastair, H. and Xi, J., Geometric optimisation of piezoelectric fan arrays for low energy cooling, Int. J. Heat and Mass Transfer, 137, 52-63, 2019.

2. 研究成果及び考察（申請計画に対する達成度）

2. 1 実験装置と実験方法

使用した PE ファンは長さ 75 mm のバイモルフ型であり、交流電源（100V で 71Hz）により幅 13 mm のブレード先端がおおよそ 2 cm の振幅で駆動する．本実験では図 1 と同様に、2 枚のファンが下流側に配置される F1R2 配置（前方（Front）：1，後方（Rear）：2）と、並列配置、及び 1 枚のファンが下流側に配置される F2R1 配置の計三通りの配置を設定した．3 枚のファンは同位相で同期的に駆動する条件と、中央の 1 枚のファンを他と逆位相で駆動させる条件を与えた．流れの可視化はスモークを用い、レーザーシート光により水平断面を照射した．送風量は図 4 のロボットアームに取り付けられた熱線風速計を用い、ファン先端から $X = 150$ mm 下流の YZ 断面の平均風速場を Y 方向に 10 mm、 Z 方向に 5 mm 間隔で測定した．周囲の壁について、本実験では、PE ファンの周囲が開放された条件と、下流側に開口部を有する図 5 の筐体（幅 180 mm、長さ 255 mm、高さ 30 mm、天板に吸気口を有する）に収められた条件を与えた．

2. 2 流れの可視化

ファン周囲に壁がない開放条件で、ファンを同期的に駆動した条件と、逆位相を与えた条件による流れの可視化画像を図 6 の上段及び中段に示す．F1R2 配置では同位相、逆位相どちらも噴流状の流れが発達し、両条件に大きな違いは見られなかった．一方、F2R1 配置において、同位相条件では二方向に分岐する帯状の流れが確認できたのに対して、逆位相条件では下流に向かう帯状の流れが確認された．また並列配置でも同位相条件で観察された分岐する流れパターンが逆位相条件では見られなかった．また、ファン枚数を 5 枚に増やし、同期条件で駆動させたところ、V 字状に配置したケースでは三枚ファンの流れと類似した流れが観察された（図 6 下段）．他方、ファンを交互に W 字型に配置すると、いくつかの帯状の流れとともに、複雑な流れパターンが観察された．

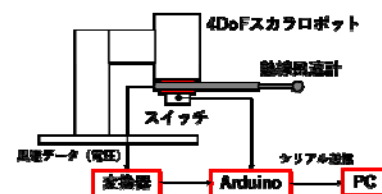


図4 アームロボットを用いた風速測定

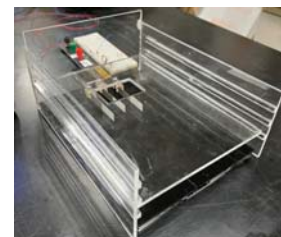


図5 開口部を設けた筐体と PE ファン

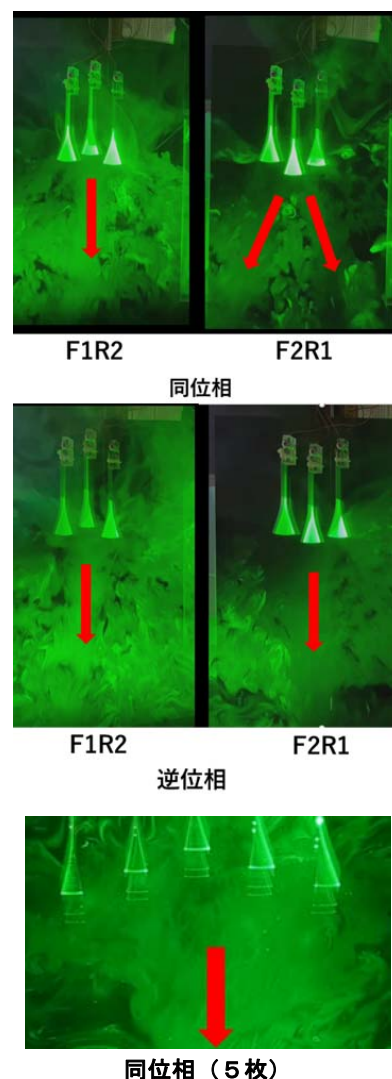


図6 ファン配置による流れの可視化

2. 3 断面風速分布

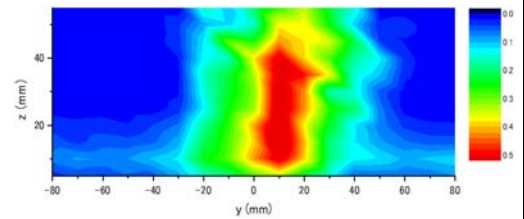
下流の YZ 断面通過風速について、はじめにファン周囲に壁を設置しない開放条件における平均風速分布を図 7 に示す。ここで 3 枚のファンは同期した駆動条件が与えられている。F1R2 配置では、0.5 m/s の領域が下端から $Z = 40$ mm まで及び Y 方向に ± 20 mm の範囲に集中しており、床面に沿って断面中央に集中する縮流が発生していることが分かる。一方、分岐する流れが観察された F2R1 配置では、断面の左右に 0.3 m/s~0.5 m/s の分布が見られ、分岐する帯状の流れが床に沿って発達している様子が伺える。続いて、周囲を筐体で覆い、図 8(a) の四角形の吸気口を設けたケースの出口断面風速分布を図 9 に示す。風速分布は図 7 の開放条件と類似しているが、F1R2 配置では 0.5 m/s の縮流が天板に沿って発達していることがわかる。また分岐した流れが発達する F2R1 配置でも天井に沿った流れを示す風速分布が得られた。この傾向は四角形以外の吸気口でも確認された。

2. 4 断面通過平均体積流量

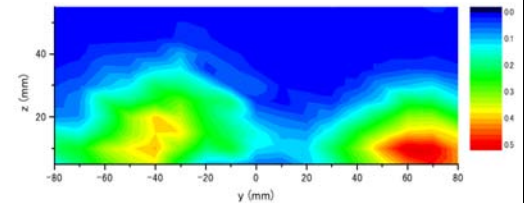
各条件における出口断面を通過する平均体積流量を表 1 に示す。筐体内にファンが設置されたケースにおける通過流量は、開放条件に対して半分程度に減じたものの、吸気口の設置により送風と風向コントロールが可能になることがわかった。

2. 5 申請時に掲げた目標達成と課題

申請時に掲げたファンの駆動条件と流れパターンの把握及び流量評価を計画通り行い、目標を達成した。本実験により、千鳥配置 PE ファンは逆位相の動きを与えても流量は大きく変わらないが、同期駆動が風向コントロールの点で好ましいこと、また狭い筐体内ではファン上部に吸気口を設けることで送風能力が維持されることがわかった。一方、天板に通気口を持つ筐体内では、流れが上方に偏る傾向を有するなど、実用上の課題となる特性も見出された。

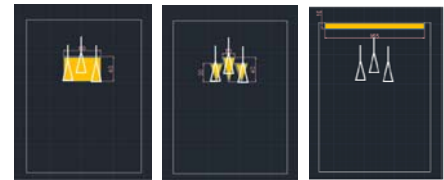


(a) 千鳥配置 (2 枚が後方の F1R2 配置)



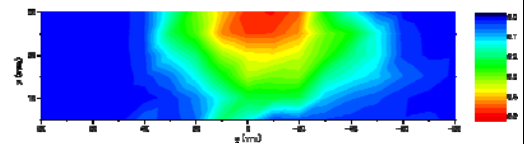
(b) 千鳥配置 (1 枚が後方の F2R1 配置)

図 7 ファン周囲を開放したケースにおける下流での断面平均風速分布

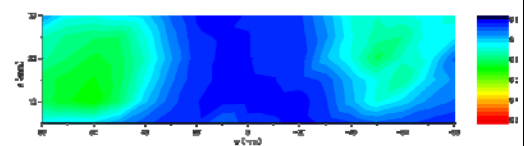


(a) 四角形 (b) 三角形 (c) スリット

図 8 天板に設けた吸気口



(a) 千鳥配置 (2 枚が後方の F1R2 配置)



(b) 千鳥配置 (1 枚が後方の F2R1 配置)

図 9 断面風速分布 (四角形吸気口)

表 1 出口断面通過体積流量の比較

	位相	断面通過流量 [cm ³ /s]		
		F1R2	並列	F2R1
開放	逆位相	1372	1007	840
開放	同位相	1131	1030	1004
四角窓	同位相	617		488
三角三つ窓	同位相	562		255
上流に隙間窓	同位相	567		385

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

申請時の計画において、①多点測定用アームロボット、②汎用データ解析ソフトウェア、③アクリル板、④Piezo Fan Blade、及び⑤旅費（岡山―広島）を計上した。

使用状況は、ほぼ申請通りであり、①計測用アームロボットとして、アカデミックスカラロボットを制御用 PC とともに購入した。さらに、データロギングのために RasPi を購入した。また、②汎用データ解析ソフトウェアとして、ORIGIN-Pro2024 を購入した。ソフトウェアは噴流の流れ解析のために流体解析コード(Flowsquare1 年間ライセンス)を購入した。③アクリル板について、アクリル板の他、風除け用にのりパネ、アルミフレーム、フィラメントとロガー駆動用電池を購入した。④Piezo Fan として、EKULIT 社製のファンを 5 枚購入した。⑤の旅費については、不足したため、オンラインにて広島大学流体研究室とディスカッションを行った。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

PE ファンの配置による流向コントロールや送風効率の向上は、電子機器等の局所冷却を可能にし、狭い筐体内での熱問題を解決する新たな方法につながるものと期待される。このことから、本研究を推進する意義は大きいと考える。複数の弾性振動板が作り出す流れを制御する手法について、既往研究によれば、ヒートシンク内に弾性板を平行に配置し、同期及び逆位相の動きを与えて冷却性能を向上させた例や、周囲の壁や物体の配置位置によって効果的な冷却が可能であることが示唆されている。本研究では、PE ファンを千鳥状に配置し、ファンの配置を前後に調整することで縮流状の流れや分岐する流れを発生できるものの、狭い筐体内にファンを収めると送風量が著しく低下する課題の克服に取り組んだ。実験の結果、ファンの位相差や吸気口位置により、PE ファンを筐体内に設置した条件でも送風や風向コントロールが可能になることを確認した。しかしながら、ファンの上部に吸気口を設けた場合、ファンが作り出す流れが上方に偏ることが確認された。このように、千鳥配置 PE ファンを筐体内の収められた電子機器の冷却に利用するためには、ファンが作り出す複雑な流れのメカニズムを解明し、上下方向の風向コントロールを実現する必要がある。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

（1）発表済

- ・水本直希，細谷和範，PE ファンアレイが作り出す流れに関する実験的研究，機械学会中国四国学生会 第 54 回学生員卒業研究発表講演会，04a5，2024.3.7.

（2）発表予定

- ・日本機械学会 2024 年度 年次大会，2024 年 9 月 8 日（日）～11 日（水），愛媛大学