

## No. 6

## 流れ制御のための間欠噴流アクチュエータの開発

望月 修\*, 木谷 勝\*, 鈴木 紳由\*

## Development of a Zero-Mass-Flow Device to Control Flow

Osamu MOCHIZUKI, Masaru KIYA and Nobuyoshi SUZUKI

Division of Mechanical Science, Hokkaido University

Characteristics of a pulsating round jet ejected from an orifice into a uniform cross flow are investigated experimentally to develop a zero-mass-flow device to control flow. The trajectories of the jet with different initial conditions are found to collapse into a single curve if these are normalized by the frequency and amplitude of the jet, and the cross flow velocity. This means that the disturbance generated by the jet can be hit at an arbitrary position apart from the orifice.

Key Words : jet, control, cross flow, vortex ring, flow visualization

## 1. はじめに

航空機の翼のみならず、ターボ機械内の翼およびディフューザにおいて流れがはく離することは、それらの機械の性能に深刻な打撃を与えることになる。たとえば着陸寸前の航空機では翼上面の流れがはく離し易く、いわゆる失速状態に陥りやすい。航空機における失速は重大な事故につながることは記憶に新しい。このためフラップ、ボルテックスジェネレータのようないわゆる高揚力装置と呼ばれる大がかりな装置によって、はく離を未然に防ぐことが行われるのである。しかし、フラップを作動させるための付加的装置は航空機全体の重量および投影面積を増加させるし、ボルテックスジェネレータは常に流れにさらされ、一種の抵抗になっている。したがって、これらははく離の危険にさらされたときだけ必要とされるにも係わらず、いつも航空機の抵抗の増加につながるような影響を及ぼしていることになる。このことは、航空機の燃費にも多大な影響を及ぼしているのである。一般のターボ機械において、それが設計通り使用されていれば問題はないが、そのようなことの方が少ないであろう。規定流量外で使用されるポンプや送風機ではやはりはく離が生じやすい。これによって、機械の振動・騒音が問題となる。

従来のはく離制御というのは、それがパッシブ制御にしてもアクティブ制御にしても常に流れになんらかの人

工的攪乱を与え続けるものである。このため、流れ全体がこの制御によって影響を受け、最悪の場合には機械の効率を犠牲にすることもある。流体機械や航空機では、はく離が起これないように設計するのであるから、普段ははく離制御を必要としない。すなわち、はく離が生じたときだけ制御装置が作動すればよい。また、はく離を起こした部分のみを制御することができればエネルギーの省力化につながる。もし、はく離が起これる前兆を捉え、はく離を事前に抑制できれば一すなわち異常な状況においてのみ、制御装置が作動すれば一常に設計点における流れが実現されることになり、余儀なく設計変更をさせられることはない。さらに、その制御装置が非常に小さく、作動していないときには流れに影響を及ぼさないものであれば、機械の効率を犠牲にすることもない。

これらのことは別の問題として、どこにでも制御装置を必ず取り付けられるとは限られないということがあがる。制御装置を取り付けられないような場所におけるはく離をどのように制御するのかといったことが問題となる。このためには、流れの音波による攪乱の受容性に関する研究、ある位置から発生させた制御用攪乱(ガスト)を目的の箇所に打ち込む技術の確立、などが望まれる。

本研究では、はく離の制御が必要なときだけ制御装置を作動させるといった、流れに損失を与えず、機械の効率を低下させない制御技術の実現、ガストを用いた遠隔制御の技術の確立を目的としている。実験において、一様流の横風中にオリフィスから噴出させた間欠噴流<sup>1-3)</sup>の挙動/性質を調べた。この結果、この間欠噴

\*北海道大学工学部

流の渦構造が移動する軌跡は、噴出周波数、噴出速度、および横風速度を用いて無次元化することによって普遍的にまとめられることが明らかとなった。このことは、それらのパラメータを与えるとガストの軌跡を決定でき、任意の地点に任意の強さのガストを打ち込めることを意味している。このようなガストに対する翼に作用する非定常力の関係も研究されている<sup>4)</sup>。

## 2. 実験装置および方法

間欠噴流（以下単に噴流という）は、風洞試験部の壁面の一部に明けられた直径 5 mm のオリフィスから、一様流の横風中（速度  $U$ ）に噴出させられる。オリフィスにつながる容器の容積をその底面に取り付けられたスピーカコーンを変位させることで変化させる。容器内の容積が小さくなると、噴流としてオリフィスから噴出し、逆に容積が大きくなると、オリフィスから横風中の空気を容器内に吸い込むことになる。したがって、容積変化における増減の振幅が同じであれば、オリフィスを通った吹き出しと吸い込みの流量は同じである。噴出の周波数  $f$  および噴出速度  $V_0$  は、スピーカに与える信号によって変化させる。スピーカに与えた信号波形は矩形波である。これと同じ様な噴流はピエゾアクチュエータを用いても実現できる<sup>5)</sup>。

噴流を形成する渦輪の挙動は煙を用いた流れの可視化によって観測した。噴流の噴出周波数にストロボライト発光を同期させ、写真撮影を行った。撮影した領域内では、横風中の渦輪の位置はストロボライトの同期発光により、固定されたように見える。(図1)。煙が充満した渦輪の中心を写真から読みとった。この中心を結んだ線は流脈線となるが、これが変動しないので、一つの渦輪に着目した場合の渦輪が移動する軌跡（流跡線）とみなせる。

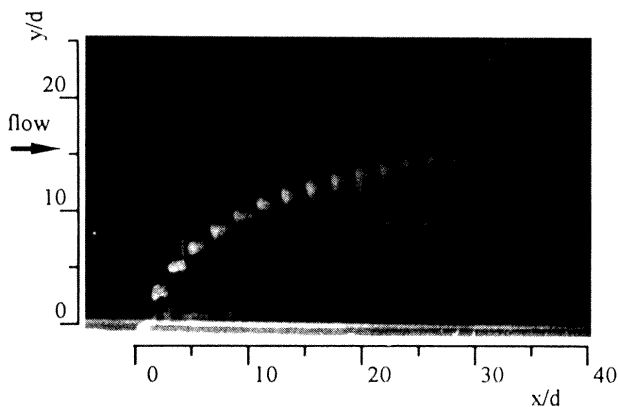


図1 横風中の間欠噴流（間欠噴流の周波数に同期させた多重露光）

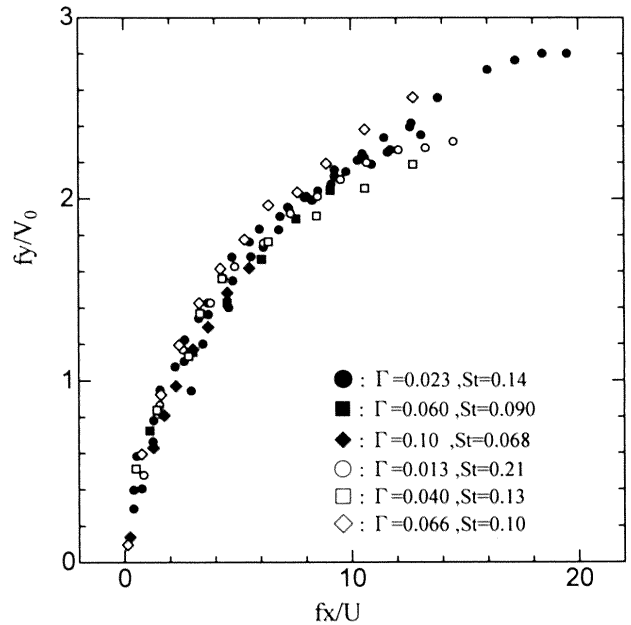


図2 噴出条件の異なる間欠噴流の軌跡

## 3. 実験結果および考察

種々の条件で噴出させた噴流における渦輪の中心位置をまとめてプロットしたものを図2に示す。実験は  $U = 0.4 \text{ m/s}$  で行った。図中の  $St$  は無次元周波数 ( $fd/V_0$ )、 $Re$  は渦輪の循環  $\Gamma \{= V_0^2 / (2f)\}$  に基づくレイノルズ数 ( $\Gamma/\nu$ ) である。図の横軸はオリフィスから下流方向へ測定した距離  $x$  を  $f$  と  $U$  で無次元にしたもの、縦軸はオリフィスから垂直方向に測定した距離  $y$  を  $f$  と  $V_0$  で無次元にしたものを表す。このようにしてまとめると、渦輪の軌跡はほぼ一つの曲線で表すことができることがわかる。この曲線は

$$fy/V_0 = c(fx/U)^{0.5}$$

で表される。ここに、 $c$  は定数である。ただし、オリフィスから遠く離れるとその曲線からのずれ（偏差）が大きくなる。この結果から、噴流の吹き出し条件をいくつかに変化させても、上述のパラメータで整理するとその軌跡がほぼ一本の曲線で表されることから、目的のある強さのガストをある周期で打ち込むことが可能であることが明らかとなった。

## 4. 結論

離れた位置におけるはく離流れを制御するための、ガストを用いた遠隔制御の技術の確立を目的として、横風中に噴出させた間欠噴流の軌跡を流れの可視化によって明らかにした。この結果、間欠噴流は渦輪列によって構成され、その軌跡は噴出周波数、噴出速度および主流速度によって記述できることがわかった。

## 参考文献

- 1) R. M. Kelso, T. T. Lim, and A. E. Perry, 1996, An experimental study of round jets in crossflow, *J. Fluid Mech.*, vol 306, pp. 111–144.
- 2) P. Huq and M. R. Dhanak, 1996, The bifurcation of circular jets in crossflow, *Phys. Fluids*, vol. 8 (3), pp. 754–763.
- 3) Y. K. Chang and D. Vakili, 1995, Dynamics of vortex rings in crossflow, *Phys. Fluids*, vol. 7 (7), pp. 1583–1583.
- 4) J. S. Marshall and J. R. Grant, 1996, Penetration of a blade into a vortex core : vorticity response and unsteady blade forces, *J. Fluid Mech.*, vol. 306, pp. 83–109.
- 5) J. W. Jacobs, R. D. James, C. T. Ratliff, and A. Glezer, 1993, Turbulent jets induced by surface actuators, AIAA paper 93–3243.

