

謝辞

本研究で取り上げたインデューサ付き遠心ファンは、松下エコシステムズ株式会社のクリーンモジュールユニットに搭載される一方、そのメカニズムを学術的に明らかにするために児玉好雄教授のご指導を受けながら、長崎大学大学院生産技術研究科にて研究を進めてまいりました。同教授には、研究の立ち上げから論文の完成まで収支懇切なるご指導とご鞭撻を賜りましたことを心より感謝申し上げます。

また、投稿論文や学位論文の作成にあたっては、懇切丁寧に有益なご教示とご指導を賜りました林秀千人教授に深く感謝の意を表します。

さらに、本論文の審査を引き受けて下さり、御指導頂いた長崎大学工学部機械システム工学科、石田正弘教授、茂地徹教授に心より感謝申し上げます。

参考文献

- (1) Lighthill, M. J., " On Sound Generated Aerodynamically (Part 1: General Theory " , Proc. Roy. Soc. London, Ser. A , 211(1952), 564-587.
- (2) Lighthill, M. J., " On Sound Generated Aerodynamically (Part 2: Turbulence as a Source of Sound) " , Proc. Roy. Soc. London, Ser. A , 211(1954), 1-32.
- (3) Lawson, M. V., " The Sound Field for Singularities in Motion " , Proc. Roy. Soc. London, Ser. A , 286(1965), 559-572.
- (4) Curle, N., "The Influence of Solid Boundaries upon Aerodynamic Sound " , Proc. Roy. Soc. London, Ser. A , 231(1955), 505-514.
- (5) Doak, P. E., " Acoustic Radiation from a Turbulent Fluid Containing Foreign Bodies " , Proc. Roy. Soc. London, Ser. A , 254(1960), 129-145.
- (6) Sharland, I.J., "Sources of Noise in Axial Flow Fans", J. Sound and Vibration, 1-3(1964), 302-322.
- (7) 妹尾・児玉、低圧軸流送風機の騒音に関する研究、機論、39-320, (1973), 1246-1254.
- (8) 児玉・ほか4名、ジェットファンの離散周波数騒音に関する研究、ターボ機械、29-10(2001), 611-618.
- (9) Hanson, D. B., " Noise of Counter-rotation Propellers " , J. Aircraft, 22(1985), 609-617.
- (10) Fujii, s. et al, " Aeroacoustics of an Advanced Propeller Design Under Takeoff and Landing Conditions " , J. Aircraft, 23-2(1986), 136-141.
- (11) Janardan, B. A. and Gliebe, P. R., " Acoustic Characteristics of Counter-rotating Unducted Fans from Model Scale Tests " , J. Aircraft, 27-3(1990), 268-275.
- (12) 児玉・ほか3名、二重反転式軸流送風機の流体力学的特性と騒音特性に関する実験的研究(第1報:軸間距離、電動機支持形態の影響)、機論、60-576, B(1994), 2764-2771.
- (13) 児玉・ほか3名、二重反転式軸流送風機の流体力学的特性と騒音特性に関する実験的研究(第2報:動翼枚数の組合せ及び翼先端すきまの影響)、機論 60-576, B(1994), 2772-2779.
- (14) 児玉・深野、低圧軸流送風機の共鳴騒音に関する研究(丸棒の位置、回転数および翼先端形状の影響)、機論、52-477, B(1986), 2131-2136.
- (15) 甲藤、共鳴サージの研究(第1報:実験結果と振動系の検討)、機論、6-162(1960), 256-264.
- (16) 甲藤、共鳴サージの研究(第2報:理論解析)、機論、6-162(1960), 265-271.

- (17) 鈴木・ほか2名、遠心送風機の低流量域の騒音特性（第1報；旋回失速に起因した低周波騒音）、機論、43-372(1977), 3020-3026.
- (18) T. FUKANO, Y. KODAMA, Y. SENO, "Noise Generated by Low Pressure Axial Fans [(I) Modeling of the Turbulent Noise]", J. Sound and Vibration, 50-1(1977), 63-74.
- (19) T. FUKANO, Y. KODAMA, Y. TAKAMATSU, "Noise Generated by Low Pressure Axial Flow Fans [(II) Effects of Number of Blades, Chord Length and Camber of Blade]", J. Sound and Vibration, 50-1(1977), 75-88.
- (20) T. FUKANO, Y. KODAMA, Y. TAKAMATSU, "Noise Generated by Low Pressure Axial Flow Fans [(III) Effects of Rotational Frequency, Blade Thickness and Outer Profile of Blade]", J. Sound and Vibration, 56-2(1978), 261-277.
- (21) T. FUKANO, Y. KODAMA, Y. TAKAMATSU, "The Effects of Tip Clearance on the Noise of Low Pressure Axial Flow Fans", J. Sound and Vibration, 105-2(1986), 291-308.
- (22) 児玉・深野、低圧軸流送風機の騒音に与える翼先端すきまの影響（すきま内に設置したリングの幅と位置および翼先端形状による差異）、機論、52-475, B(1986), 1316-1324.
- (23) Morfey, C. L., "Sound Generation in Subsonic Turbomachinery", Trans. ASME, Ser. D, 92-1(1970), 450-458.
- (24) Mani, R., "Discrete Frequency Noise Generation from an Axial Fan Blade Row", Trans. ASME, Ser. D, 92-192-1(1970), 37-43.
- (25) Lipstein, N. J. and Mani, R., "Experimental Investigation of Discrete Frequency Noise Generated by Unsteady Blade Forces", Trans. ASME, Ser. D, 92-1(1970), 155-164.
- (26) Krishnappa, G., "Blade Interaction Noise from Lift Fans", J. Acoust. Soc. America, 51-5(1972), 1464-1470.
- (27) Tyler, J. M. and Sofrin, T. G., "Axial Flow Compressor Noise Studies", SAE Trans., 70(1962), 309-332.
- (28) Doak, P. E. and Vaidya, P. G., "A Note on the Relative Importance of Discrete Frequency and Broadband Noise Generating Mechanism in Axial Fans", J. Sound and Vibration, 9-2(1969), 192-196.
- (29) Mellin, R. C. and Sorvan, G., "Controlling the Tonal Characteristics of the Aerodynamic Noise Generated by Fan Rotors", Trans. ASME, Ser. A, 92-1(1970), 143-154.

- (30) Walker, G. J. and Oliver, A. R., "The Effect of Interaction Between Wakes from Blade Rows in an Axial Flow Compressor on the Noise Generated by Blade Interaction", *Trans. ASME, Ser. A*, 94-4(1972), 241-248.
- (31) 道・村田、軸流送風機の騒音について、機論、38-312(1973), 2093.
- (32) Metzger, F. B. and Hanson, D. B., "Low Pressure Ratio Fan Noise Experiment and Theory", *Trans. ASME, Ser. A*, 95-1(1973), 19-26.
- (33) Duncan, P. E. and Dawson, B., "Reduction of Interaction Tones from Axial Flow Fans by Non-uniform Distribution of the Stator Vanes", *J. Sound and Vibration*, 38-3(1975), 357-371.
- (34) Embleton, T. F. W., "Experimental Study of Noise Reduction on Centrifugal Blowers", *J. Acoust. Soc. America*, 35-5(1963), 700-705.
- (35) Neise, W., "Application of Similarity Laws to the Blade Passage Sound of Centrifugal Fans", *J. Sound and Vibration*, 43-1(1975), 61-75.
- (36) Mugridge, B. D., "Acoustic Radiation from Airfoils with Turbulent Boundary Layers", *J. Sound and Vibration*, 16-4(1971), 593-614.
- (37) Mugridge, B. D., "Turbulent Boundary Layers and Surface Pressure Fluctuations on Two-Dimensional Airfoils", *J. Sound and Vibration*, 18-4(1973), 475-486.
- (38) Mugridge, B. D., "Broadband Noise Generation by Airfoils and Axial Flow Fans", *AIAA paper*, 73-1018(1973).
- (39) Schlomer, H. H., "Effects of Pressure Gradients on Turbulent Boundary Layer Wall Pressure Fluctuations", *J. Acoust. Soc. America*, 42-1(1967), 93-113.
- (40) Robbins, B., "Turbulence Induced Noise in a Single Stage Axial Flow Fan", *AIAA paper*, 72-265(1974).
- (41) Homicz, G. F. and George, A. R., "Broadband and Discrete Frequency Radiation from Subsonic Rotors", *J. Sound and Vibration*, 36-2(1974), 151-177.
- (42) Clark, P. J. F. and Ribner, H. S., "Direct Correlation of Fluctuating Lift with Radiated Sound for an Aerofoil in Turbulent Flow", *J. Acoust. Soc. America*, 46-3(1968), 802-805.
- (43) Clark, L. T. and Chalupnik, J. D., "Wake-related Sound Generation from Isolated Airfoils", *J. Acoust. Soc. America*, 59-1(1976), 24-30.
- (44) Davis, S. S., "Theory of Discrete Vortex Noise", *AIAA J.* 13-3(1975), 375-380.
- (45) Kotake, S., "Random Vortex Shedding Noise of Aerofoils", *J. Sound and Vibration*, 40-1(1975), 87-99.
- (46) 深野・児玉・妹尾、低圧軸流送風機の乱流騒音について、機論 41-345(1975),1479-1488.

- (47) Chanaud, R. C., " Aerodynamic Sound from Centrifugal-Fan Rotors " . Acoust. Soc. America, 37-2(1965), 969-974
- (48) 森主、多翼ファンの騒音発生源、機論、57-543, B(1991), 3837-3844.
- (49) Bartenwerfer, W., " Noise Reduction in Centrifugal Fans by means of an Acoustically Lined Casing " Noise Control Engineering, (1977), 100-107.
- (50) Bommers, L. and et al, " Effects of Blade Design on Centrifugal Fan Noise and Performance " , Noise Control Eng., J. 43-5(1955), 91-97.
- (51) Moreland, J. B., " Housing Effects on Centrifugal Blower Noise " , J. Sound and Vibration, 36(1974), 191-205.
- (52) 濱田・ほか5名、翼付き多層円板ファンの流体力学的特性と騒音に関する実験的研究 (第1報:翼の有無、円板間隔、翼取付位置の影響)、機論、59-567, B(1993), 3422-3429.
- (53) 濱田・ほか5名、翼付き多層円板ファンの流体力学的特性と騒音に関する実験的研究 (第2報:翼取付角、円板肉厚、円板内径および翼枚数の影響)、機論、59-567, B(1993), 3430-3437.
- (54) 児玉・ほか3名、翼付き多層円板ファンの乱流騒音について、機論 62-596, B(1996), 1420-1427.
- (55) 児玉・新原・林、多翼ラジアルファンの乱流騒音の予測、ターボ機械、24-8(1996), 477-483.
- (56) 新原・児玉・林・畠山、多翼ラジアルファンの流体力学的特性と騒音特性に関する実験的研究 (流体力学的特性と騒音特性に及ぼす羽根車内径、羽根枚数の影響)、機論、62-602, B(1996), 3642-3648.
- (57) 児玉・新原・林、多翼ラジアルファンの乱流騒音の流量特性とその音圧レベル予測、ターボ機械、25-2(1997).
- (58) 児玉・ほか3名、二重翼列遠心ファンの空力特性と騒音に関する研究 (スクロール角及び隔壁の影響)、ターボ機械、29-8(2001), 456-463.
- (59) 畠山・ほか4名、二重翼列遠心ファンの空力特性と騒音特性に関する実験的研究 (露出度とスクロール吐出角の影響)、ターボ機械、30-2(2002), 91-98.
- (60) 児玉・畠山・佐々木、二重翼列遠心ファンの空力特性と乱流騒音について、ターボ機械、30-12(2002), 715-723.
- (61) 深野・ほか4名、横流ファンの騒音低減化に関する研究 (第1報:舌部及び動翼の幾何形状の影響)、ターボ機械、20-8(1992), 464-470.
- (62) 深野・ほか3名、横流ファンの騒音低減化に関する研究 (第2報:舌部隙間の大さの影響)、ターボ機械、21-6(1993), 350-357.

- (63) 深野・ほか3名、横流ファンの騒音低減化に関する研究（第3報：スクロール形状の影響）、ターボ機械、21-8(1993), 466-472.
- (64) 生井、井上、ターボ送風機と圧縮機、コロナ社.
- (65) Eckert, B. and Schnell, E., " Axial-und Radial Kompressoren" , 2 Aufl., Springer-Verlag. (1961).
- (66) Galvas, M. R., NASA TN D-7487.
- (67) Dean, Jr. R. C. and Senoo, Y., Trans. ASME, Ser. D., 82-3(1960), 563-574.
- (68) Johnston, J. P. and Dean, Jr. R. C., Trans. ASME, Ser. A., 88-1(1966), 49-62.

おもな記号

a_0	音速	m/s
B	翼枚数	
C	翼弦長	m
C_f	壁面摩擦係数	
C_L	揚力係数	
C_{SL}	すべり速度	m/s
$C_{\theta 1}$	羽根枚数無限大の羽根車入口絶対速度の周方向成分	m/s
$C_{\theta 2}$	羽根枚数無限大の羽根車出口絶対速度の周方向成分	m/s
C_{m2}	メリデアン速度	m/s
C_μ	経験定数	m/s
D	相対座標系における後流の幅	m
Da	絶対座標系における後流の幅	m
D_1	羽根車内径	m
D_2	羽根車外径	m
D_0	口金内径	m
D_t	羽根厚さ	m
E	音響出力	W
f	周波数	Hz
g	重力加速度	m/s^2
H	有効ヘッド	m
H_{th}	羽根枚数有限の理論ヘッド	m
$H_{th\infty}$	羽根枚数無限の理論ヘッド	m
h_1	羽根入口スパン	m
h_2	羽根出口スパン	m
h_l	損失ヘッド	m
h_{lb}	羽根車内の損失ヘッド	m
$h_{lb t}$	壁面摩擦による損失ヘッド	m
$h_{lb d}$	翼負荷に基づく損失ヘッド	m
i_b	入射角	deg
i_b^*	無衝突入射角	deg
k	整数	
$K_S(A)$	A特性の音圧レベルに基づく比騒音レベル	dB
$K_S(L)$	L特性の音圧レベルに基づく比騒音レベル	dB

L	: ファン入力	W.
N	: 回転数	rpm
m	: ロブ数	
n	: 高調波の次数	
P_1	: 圧力損失	Pa または mmA q
P_{IT}	: 全圧損失	Pa または mmA q
P_S	: 静圧	Pa または mmA q
P_t	: 全圧	Pa または mmA q
p	: 音圧または翼の上下面の圧力差	Pa
p_0	: 最小可聴音圧	Pa
P_{th}	: 圧力上昇	Pa または mmA q
Q	: 流量または質量	m ³ /h または k g / s
Q_1	: 送風機流量	m ³ /h または m ³ /s
Q_2	: ベルマウスとシュラウド間の漏れ流量	m ³ /h または m ³ /s
Q_3	: 送風機流量	m ³ /h または m ³ /s
r	: 音源と観測点間の距離	m
r_1	: 羽根車内半径	m
r_2	: 羽根車外半径	m
S	: 投影面積	m ²
S_c	: 相関面積	m ²
S_t	: ストロハル数	m ²
$SPL(A)$: A 特性の音圧レベル	dB
$SPL(L)$: L 特性の音圧レベル	dB
T_{ij}	: 音響応力	N · m
t	: 時間	s
u_1	: 羽根車入口周速度	m / s
u_2	: 羽根車出口周速度	m / s
U	: 絶対速度	m / s
V	: 静翼枚数	
V_2	: 羽根出口絶対速度または流れの速度	m / s
V_3	: 混合後の速度	m / s
V_{r2}	: 羽根出口絶対速度の半径方向成分速度	m / s
V_{u1}	: 羽根入口絶対速度の周方向成分	m / s
V_{u2}	: 羽根出口絶対速度の周方向成分	m / s
W	: 代表相対速度	m / s
W_1	: 羽根入口相対速度	m / s

W_2	:	羽根出口相対速度	m/s
x	:	座標	m
z	:	スパン方向距離	m
β_1	:	流入角	deg.
β_2	:	流出角	deg.
Γ	:	翼周りの循環	m ² /s
γ	:	放出渦の循環	m ² /s
γ_1	:	設計入口角	deg.
γ_2	:	設計出口角	deg.
Δh	:	損失ヘッド	m
δ	:	出口偏差角	deg.
δ_s	:	口金すきま	mまたはmm.
ζ_d	:	損失係数	
ζ_{ib}	:	曲がりによる損失係数	
η	:	ファン効率	
θ	:	音源を中心としてファンの軸中心と観測点のなす角	deg.
λ	:	動力係数	
μ	:	粘性係数	
μ_t	:	粘性係数	
ρ	:	空気密度	kg/m ³
σ	:	すべり係数	
σ_t	:	乱流プラントル数	
ϕ	:	流量係数	
ϕ	:	圧力係数	
ω	:	角速度	rad/s