

## 工学博士妹尾泰利氏の「遠心式ターボ機械 械内の流れに関する流体力学的研究」に 対する授賞審査要旨

遠心式ターボ機械は回転する羽根車とそれを通り抜ける流体との間のエネルギー交換により、流体を連続的に加圧する目的や、減圧して動力を得る目的に広範囲に使用される重要な機械であるが、形状が複雑なため流れの解析が困難で、Wislicenus, Eckert, Stepanoffらによって、経験則に基づく古い学問体系に依存して集大成されていた。妹尾氏は、複雑な流動現象の本質を捉え巧みに理論的にモデル化した独創的な流体力学理論を羽根車とこれに続くディフューザ内の流れに適用して、世界に先駆けて遠心式ターボ機械を流体力学的に学問体系化し、新生面を開拓したばかりでなく、更にその性能を画期的に高めることに成功した。研究成果は刮目に値する流体力学機械上の貢献であると同時に、工学の実際にも世界的に極めて大きな影響を与えている。

### I. 遠心羽根車内の流れの解明

遠心羽根車内の流動は湾曲流路が回転するために極めて複雑であり、その流体力学的解析には著しい困難が予想された。妹尾氏は回転流面の導入により、羽根車内の流れを求める準三次元非粘性流体力学理論を世界で初めて完成し、羽根車内の速度・圧力の分布を求める電算プログラムに仕上げた上、これに粘性の影響も含めると性能の予測精度が一層高まることを示した。本解法は送風機・圧縮機の外、ポンプや水車にも適用でき、Senoo methodとして国内外の著書に詳述され、多くの企業で高性能羽根車の設計に採用されており、我国のH2ロケットポンプ羽根車の設計でも同氏のプログラムを使用している。次に妹尾氏は本解法を用いて超音速遠心羽根車を試作し、音速域を含む内部の流動を世界で初めて解明した。また羽根車の翼端と側壁との隙間によるエネルギー損失機構を解明して、設計上重要な隙間が性能に及ぼす影響の予測を可能にした。

### II. ディフューザ内の流れの解明

産業用遠心圧縮機・送風機のディフューザ（羽根なしディフューザ）は円環状通路で、ここで流れを自由に旋回させて昇圧する。この一見単純で著しく難解な流動に対しても、妹尾氏は他に比類のない画期的な数々の業績を挙げた。

(一) Dean-Seno 理論 従来、遠心羽根車からの流出は軸対称と見

なされていた。これに対し妹尾氏は、羽根車内では羽根毎に境界層の流体が集って流速の遅い領域を作るので、回転する羽根車の出口は周期的変動流となるが、変動はディフューザ内で急激に減衰して軸対称流となり、その間に大きな静圧上昇と全圧降下が生ずることを理論的に説明し、実験により確認した。この理論は Dean-Seno theory と呼ばれて学術的に高く評価され、また羽根車とディフューザの性能を個別に評価する目的に必要不可欠なため、流体機械学の殆ど総ての著書に掲載されている。なお後記 LSD に使用する翼の前縁位置は、本理論によって定められる。

(2) ディフューザ内の流れと安定限界 ディフューザ内では昇圧のため側壁に沿って逆流が発生し易い。妹尾氏は独創的な三次元乱流境界層理論を導入して、長年の懸案であったディフューザ内の旋回流の解明に成功した。さらに、少流量でディフューザの側壁上に一定強さの逆流域が形成されると、そこでは流体力学的攪乱が伝播・増幅して振動が発生することから、振動発生限界流量とディフューザ形状及び流入状態との関係を初めて明らかにした。同氏の安定規範は、下記 LSD を用いない小型遠心圧縮機・送風機の設計に必要な不可欠な規準として、国際的に幅広く使用されている。

### III. 小弦節比ディフューザの開発

ディフューザの内部に通常の翼列等を設置すれば、特定の流量での圧力回復率は高まるが、僅かな流量変化で翼は失速して性能は急落する。このことは宿命的と考えられていたが、妹尾氏は全く独創的な境界層の制御方法を開発して、他に先例を見ない画期的な成果を挙げた。すなわち同氏は弦節比の甚だ小さい円形翼列を使用して翼面及び側壁の境界層の流体を集合・合体させれば、合体した低エネルギーの流体は翼毎に側壁上を逆流して羽根車に戻り活性化するため翼は失速せず、広い流量範囲で高い圧力回復率が得られると推論した。同氏はこの推論に基づくディフューザを理論的に探求し、系統的に設計して実験した結果、従来のディフューザよりも広い流量範囲で約一〇%高い吐出し圧力と効率を得られたばかりでなく、流入角の変化に敏感な超音速遠心圧縮機においてさえも、高速流に適した翼型の採用により同様な好結果を得た。この業績の工学的意義は著しく大きい。

妹尾氏の小弦節比ディフューザは LSD (Low Solidity Diffuser) として斯界に大きな衝撃を与え、例えば米国機械学会の著書には LSD を一〇〜三〇 MW の大型遠心圧縮機百数十台に採用して、同様の好成績を収めた実施例が詳細に記載されている。因みに大型遠心圧縮機一台当たりの LSD による電力の節減量は、小水力発電所又

は大型風車一基の出力に相当する。現在日本は勿論、米・英・伊・スイス等の大手製作会社で化学プラント、石油精製、天然ガスの液化、ガスの長距離輸送、冷媒の加圧、高炉や燃焼炉の送風用等に大量に製造される大型遠心圧縮機・送風機は、LSDを採用して小型化・高効率化され、駆動電力を大幅に節減しており、LSDは今や世界制覇を達成したと言っても過言ではない。現在LSDを選音速遠心圧縮機や遠心ポンプに応用する研究が各国で活発である。

#### IV. その他の研究業績

妹尾氏の研究業績はターボ機械の広い範囲に亘っている。すなわち強い増速流では境界層が乱流から層流に逆遷移する現象を発見して、逆遷移現象に関する多数の研究の先駆けとなった外、渦発生装置による境界層制御、軸流圧縮機における旋回失速の発生機構の解明と対策、壁面境界層流れに対処した軸流羽根車用振れ翼の研究開発等、速心及び軸流ターボ機械について多数の先駆的・独創的研究を完成し、国際的に極めて高い評価を受けている。

妹尾氏は、国際会議における基調講演や海外諸大学の特別講義に度々招聘された外、研究業績は多数の欧米の学術専門書に引用掲載されて、ターボ機械の分野における世界の第一人者として高く評価

されている。また遠心圧縮機の高効率化に伴う電力の節減は、経済的効果の外、省エネルギーの立場から地球環境保全に世界的規模で貢献している。妹尾氏はこれらの研究業績によって、紫綬褒章、松永賞、米国機械学会Lewis F. Moody賞、日本機械学会賞等計一四件を受賞した外、米国機械学会等のFellowや名誉員である。

#### 主要な著書及び論文目録

##### I. 著書

1. 内部流れ学と流体機械、養賢堂、(一九七三)。
2. 内部流れの力学 (I) 運動量理論と要素損失、管路系、養賢堂、(一九九五)。
3. 内部流れの力学 (II) 流動損失、渦、非定常流れ、養賢堂、(一九九四)。

##### II. 分担編集、執筆

1. 機械工学便覧 改訂6版8編 水力学および流体力学、日本機械学会、(一九七〇)。
2. 機械工学便覧 改訂6版9編 水力機械、日本機械学会、(一九七六)。
3. 流れの可視化ハンドブック、朝倉書店、(一九七七)。
4. Three-Dimensional Turbulent Boundary Layers. Springer-Verlag. (1982).
5. Encyclopedia of Fluid Mechanics. Vol.8, Aerodynamics and Compressible Flows. Gulf Publishing Company. Houston, London, Paris, Tokyo. (1986).
6. 機械工学便覧 A5 流体工学、日本機械学会、(一九八六)。
7. 機械工学便覧 B5 流体機械、日本機械学会、(一九八六)。

### 目録

1. Y. Senoo: A Comparison of Regenerative-Pump Theories Supported by New Performance Data. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, **78**, 1091-1102 (1956).
2. Y. Senoo: Stall Propagation in a Cascade of Airfoils. *Mass. Inst. Tech. Gas Turbine Lab. Rep.*, **41** (1957).
3. A. H. Stenning, B. S. Seidel and Y. Senoo: Effect of Cascade Parameter on Rotating Stall. *NASA TM*, **3-16-59W** (1958).
4. Y. Senoo: The Boundary Layer on the End Wall of a Turbine Nozzle Cascade. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, **80**, 1711-1720 (1958).
5. Y. Senoo: Three-Dimensional Laminar Boundary Layer in Curved Channel With Acceleration. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, **80**, 1721-1733 (1958).
6. Y. Senoo, E. S. Taylor, E. Hink and S. Batra: Control of Wall Boundary Layer in an Axial Compressor. *Mass. Inst. Tech. Gas Turbine Lab. Rep.*, **59** (1960).
7. R. C. Dean, Jr. and Y. Senoo: Rotating Vortices in Vaneless Diffusers. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. D, **82**, 563-574 (1960).
8. G. Khabbaz and Y. Senoo: The Influence of Tip Clearance on Stall Limits of a Rectilinear Cascade of Compressor Blades. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. D, **83**, 371-378 (1961).
9. Y. Senoo: Consideration on the Lifting Fan-Duct Systems of Ground Effect Machines. *Inst. Aerospace Science, Proc. Hydrofoils and Air-Cushion Vehicles* (1962).
10. P. G. Hill, U. W. Schaub and Y. Senoo: Turbulent Vortices in Pressure Gradients. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. E, **30**, 518-524 (1963).
11. Y. Senoo: A Photographic Study of the Three-Dimensional Flow in a Radial Compressor. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. A, **90**, 237-244 (1968).
12. Y. Senoo and Y. Nakase: A Blade Theory of an Impeller With an Arbitrary Surface of Revolution. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. A, **93**, 454-460 (1971).
13. Y. Senoo and Y. Nakase: An Analysis of Flow Through a Mixed Flow Impeller. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. A, **94**, 43-50 (1972).
14. Y. Senoo, Y. Kita and K. Okuma: Measurement of Two-Dimensional Periodic Flow With a Cobra Probe. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. I, **95**, 295-300 (1973).
15. Y. Senoo, S. Maruyama, T. Koizumi and Y. Nakase: Viscous Effects on Slip Factor of Centrifugal Blowers. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. A, **96**, 59-65 (1974).
16. Y. Senoo and M. Nishi: Improvement of the Performance of Conical Diffusers by Vortex Generators. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. I, **96**, 4-10 (1974).
17. Y. Senoo and H. Hayami: An Analysis on the Flow in a Casing Induced by a Rotating Disk Using a Four-Layer Flow Model. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. I, **98**, 192-198 (1976).
18. T. Fukano, Y. Kodama and Y. Senoo: Noise Generated by Low Pressure Axial Flow Fans. I. Modeling of the Turbulent Noise. *Jl. of Sound and Vibration*, **50**, 63-74 (1977).
19. Y. Senoo and Y. Kinoshita: Influence of Inlet Flow Conditions and Geometries of Centrifugal Vaneless Diffusers on Critical Flow Angle for Reverse Flow. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. I, **99**, 98-103 (1977).
20. Y. Senoo, Y. Kinoshita and M. Ishida: Asymmetric Flow in Vaneless Diffusers of Centrifugal Blowers. *Trans. Amn. Soc. Mech. Eng.*, Ser. I, **99**, 104-114 (1977).
21. Y. Senoo and M. Nishi: Prediction of Flow Separation in a Diffuser by a

- Boundary Layer Calculation. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., Ser. I*, **99**, 379-389 (1977).
22. Y. Senoo and M. Nishi: Deceleration Rate Parameter and Algebraic Prediction of Turbulent Boundary Layer. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., Ser. I*, **99**, 390-395 (1977).
23. Y. Senoo, H. Hayami, Y. Kinoshita and H. Yamasaki: Experimental Study on Flow in a Supersonic Centrifugal Impeller. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., Ser. A*, **101**, 32-41 (1979).
24. M. Ishida and Y. Senoo: On the Pressure Losses Due to the Tip Clearance of Centrifugal Blowers. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., Ser. A*, **103**, 271-278 (1981).
25. Y. Senoo, N. Kawaguchi, T. Kojima and M. Nishi: Optimum Strut-Configuration for Downstream Annular Diffusers With Variable Swirling Inlet Flow. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Fluids Eng., **103**, 294-298 (1981).
26. Y. Senoo, H. Hayami and H. Ueki: Low-Solidity Tandem-Cascade Diffusers for Wide-Flow-Range Centrifugal Blowers. *Am. Soc. Mech. Eng., Paper 83-GT-3* (1983).
27. Y. Kinoshita and Y. Senoo: Rotating Stall Induced in Vaneless Diffusers of Very Low Specific Speed Centrifugal Blowers. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Eng. Gas Turbines and Power, **107**, 514-521 (1985).
28. H. Hayami, Y. Senoo and H. Ueki: Flow in the Inducer of a Centrifugal Compressor Measured With a Laser Velocimeter. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Eng. Gas Turbines and Power, **107**, 534-540 (1985).
29. Y. Senoo: Energy Losses of Equilibrium Three-Dimensional Boundary Layers. *Proc. 7th International Symposium on Air Breathing Engines*, 650-655 (1985).
30. Y. Senoo and M. Ishida: Pressure Loss Due to the Tip Clearance of Impeller Blades in Centrifugal and Axial Blowers. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Eng. Gas Turbines and Power, **108**, 32-37 (1986).
31. Y. Senoo and M. Ishida: Deterioration of Compressor Performance Due to Tip Clearance of Centrifugal Impellers. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Turbomachinery, **109**, 55-61 (1987).
32. Y. Senoo and M. Yamaguchi: A Study on Unstable S-Shape Characteristic Curves of Pump Turbines at No-Flow. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Turbomachinery, **109**, 77-82 (1987).
33. H. Hayami, Y. Senoo and H. Hasegawa: Compressor Performance Influenced by Distribution of Tip Clearance of Mixed Flow Impeller. *1987 Tokyo International Gas Turbine Congress*, II, 1-7 (1987).
34. Y. I. Hyun, Y. Senoo, M. Yamaguchi and H. Hayami: The Influences of Tip Clearance on the Performance of Nozzle Blades of Radial Turbines. (Experiment and Performance Prediction at Three Nozzle Angles). *Japan Soc. Mech. Eng., International J1*, Ser. II, **31**, 258-262 (1988).
35. M. Ishida, H. Ueki and Y. Senoo: Effect of Blade Tip Configuration on Tip Clearance Loss of a Centrifugal Impeller. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Turbomachinery, **112**, 14-18 (1990).
36. M. Ishida, Y. Senoo and H. Ueki: Secondary Flow Due to the Tip Clearance at the Exit of Centrifugal Impellers. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Turbomachinery, **112**, 19-24 (1990).
37. H. Hayami, Y. Senoo and K. Utsunomiya: Application of a Low-Solidity Cascade Diffuser to Transonic Centrifugal Compressor. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Turbomachinery, **112**, 25-29 (1990).
38. H. Hayami, Y. Senoo, Y. I. Hyun and M. Yamaguchi: Effects of Tip Clearance of Nozzle Vanes on Performance of Radial Turbine Rotor. *Trans. Am. Soc. Mech. Eng., J1*, Turbomachinery, **112**, 58-63 (1990).
39. Y. Senoo: Mechanics on the Tip Clearance Loss of Impeller Blades. *Trans.*

理学博士岡田吉美氏の「植物ウイルス  
RNA遺伝子の分子生物学的解析と農業へ  
の応用」に対する授賞審査要旨

岡田氏が本研究を開始した当時、植物ウイルスに関する研究は、専ら生物学的手法によって行われ、しかも大多数の植物ウイルスがRNA遺伝子から成るため、既知のDNAの遺伝子操作系を適用することもできなかった。同氏は、一九六六年以来、今日に至るまで、一貫して植物ウイルス、特にタバコモザイクウイルス(TMV)のRNA遺伝子を主たる対象として、広範な分子生物学的研究を進め、ウイルス学ならびに植物病理学に、新たな発展をもたらすとともに、ウイルスとウイロイドRNAにかかわる斬新な遺伝子工学技術を開発して、農業の分野にも多大の貢献をした。

一、TMV粒子の再構成反応の解明

岡田氏は、抗原性の異なる二種類のコート蛋白質(CP)を持つ混成TMV粒子を、試験管内で作製する独創的方法を考案し、その抗原抗体反応を電子顕微鏡で観察することによって、ゲノムの3'末端