

岩手大学航空宇宙推進研究室の紹介

船崎 健一*¹

FUNAZAKI Ken-ichi

山田 和豊*¹

YAMADA Kazutoyo

谷口 英夫*¹

TANIGUCHI Hideo

キーワード：Gas Turbine, Turbomachinery, Measurement, CFD, Turbine, Compressor, Aerodynamics, Heat Transfer

研究室の現況

始めに研究室の研究環境を紹介する。実験設備としては、タービンの単段回転試験機1台(図1)、風洞4台(移動円柱を用いた翼列非定常性能計測用風洞(図2)、境界層・伝熱計測用多目的風洞、汎用翼列試験用風洞、伝熱風洞)、ゲッチング風洞を有し、圧縮機翼列やタービン翼列に関する様々なテーマに取り組める環境を整備している。

計算設備としては、総CPUコア数80、総メモリ112GBというPCクラスタシステム(自作)を有しており、ターボ機械の非定常動静翼干渉など様々な大規模計算需要に応えてくれている。大学内の計算設備も利用しており、SGI Altix3000上で、汎用コードCFXを用い

た複雑形状物体まわりの流れ解析などを行っている。計算の前処理行程用ソフトとしては、モデル構築用の3D CAD(Pro/Eなど)、格子生成用としてGridgen, Turbogrid, ICEM CFDなどが利用でき、後処理行程用ソフトとしては、可視化ソフトFiledViewを主に利用している。この他にもANSYS Multiphysicsが用意されており、構造解析や熱伝導解析などに用いている。

研究室の沿革

研究室は、船崎がIHIから講師として赴任した平成元年がスタート年である。学生時代には翼列の非定常空力特性や翼励振力に関する特異点解法の開発を行っていたが、IHIでの4年間では主に冷却タービン翼に関する研究開発に従事し、その関係もあって、ターボ機械に関する非定常翼列問題と翼内部冷却に係るテーマを主要研究テーマとして研究室がスタートした。空力と伝熱という「二足のわらじ」的な研究室運営は現在も続いており、それが大きな特徴にもなっている。

当時の非定常翼列問題としては、wake減衰効果の導入と動静翼間距離の効果の評価を試みていた。その後、Rapid Distortion理論に基づくより精緻な線形非定常解析法に移行したが、CFD時代の到来を察知して、理論的な研究から距離を置くようになった。その後、汎用コードが利用できるようになり、それをきっかけとしてCFD関係の研究が増え始めた。平成14年からは山田和豊先生が研究室に加わり、充実したCFD関連研究が実施できる体制が整った。

実験的な研究としては、wake通過による境界層バイパス遷移の研究に着手した。この研究では、当初ステンレス箔通電加熱法による熱伝達率計測を行い、wake通過により誘発される遷移を時間平均的に捉え、間欠度を用いた代数的遷移モデルの構築へと展開した。その後、レイノルズ数効果、主流乱れの効果、圧力勾配の効果などについて詳細に調査し、遷移モデルの精緻化に努め、Funazakiモデルとして利用されている。

翼列試験については、蒸気タービン翼列における二次流れの制御についての研究を行った。また、タービン直線翼列上流に回転円盤の外周上に円柱を取り付けた後流発生装置を設置し、wakeによるタービン翼列下流での

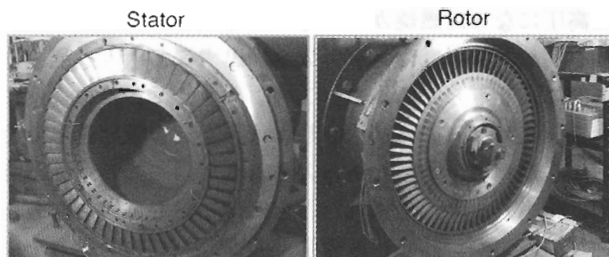


図1 タービン単段回転試験機

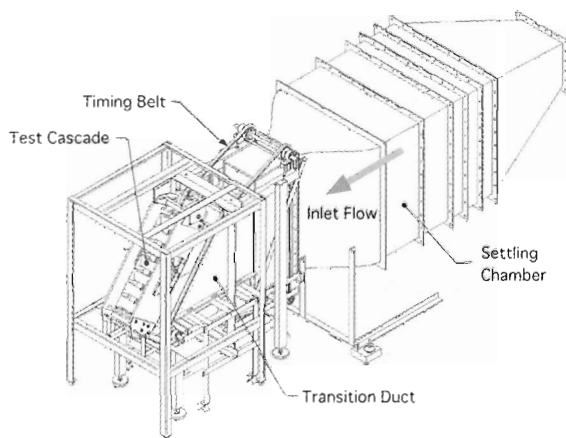


図2 翼列非定常性能計測用風洞

原稿受付 2006年11月16日

*1 岩手大学工学部機械工学科

〒020-8551 盛岡市上田4丁目3-5

流れ計測と翼列損失の研究を行った。その後、翼前縁まわりの剥離に与える wake 通過の効果に関する研究を開始し、低圧タービンの高負荷化に関する研究（後述）へと発展している。

伝熱関係の研究としては、乱流促進体を有する矩形流路における熱伝達特性を、感温液晶によって計測する研究を手始めに行った。単純形状の内部流路からより複雑かつリアルな形状のモデル内での熱伝達率計測を経て、現在は複合型インピンジメント冷却構造に関する研究に繋がっている。半円筒モデルを用いた翼前縁まわりの熱伝達に与える wake 通過の効果に関する研究は、その後行った膜冷却を伴う場合の計測を含め、世界的に見ても先駆的な研究であったと考えている。

現在の主要研究テーマ

1 タービン段の効率に与える動静翼列間隔の効果

図1に示すタービン回転試験機を用いて、タービン段の効率に対する動静翼列間隔の効果を計測するとともに、非定常 RANS 解析（図3）も並行して行っている。直感的には wake の効果を避けるために動静翼列間隔を大きくとれば効率が向上すると思われるが、低速での実験の範囲内ではあるが、動静翼列間隔を詰めることで効率は向上する傾向にあり、数値計算の結果でも同様の知見を得ている。原因としては、wake 干渉が動翼内の流路渦の成長を抑制すること、また、間隔が広い場合、静翼からの流出角の影響もあって特にハブ側での境界層が厚くなること、などが考えられるが、詳細については現在調査中である。

2 航空用低圧タービンの高負荷化に関する研究

図2に示す翼列試験装置を用いて、低レイノルズ数時に高負荷翼（低ソリディティ翼）の背面上に発生する剥

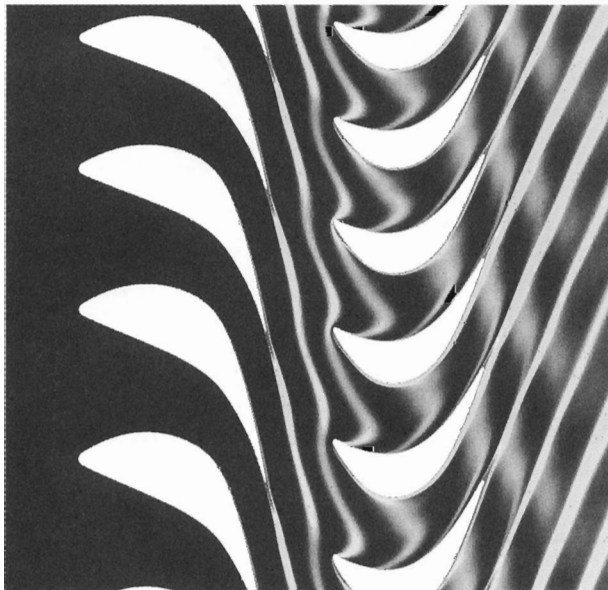


図3 タービン段空力性能に及ぼす翼列干渉効果

離泡を制御するための研究を行っている。高負荷化にともない逆圧力勾配が強まり、翼背面上で剥離泡が発生するが、剥離泡の存在は翼列の空力性能に大きく影響する。この研究では、上流側の静翼列を模擬する移動円柱列からの wake を翼面境界層と干渉させることで、剥離泡の抑制を試みている。結果としては、wake の混合損失分を入れても、剥離泡を抑制することで全体の効率を向上させる可能性を見出している。

この翼列試験では、翼面静圧、翼下流全圧損失分布及び翼面境界層を計測しており、これらのデータを利用して汎用コード CFX を用いた LES 解析を実施中である。また、山田先生を中心として Compact scheme を用いた高精度 LES 解析コードを開発中である。開発中のコードで剥離境界層の非定常挙動とその崩壊の様子が詳細に捕捉されている（図4）。

3 複合型インピンジメント冷却構造に関する研究

現在複合型インピンジメント冷却構造内の熱伝達率分布及び主流側のフィルム効率及び熱伝達率分布を計測中である。この実験での流れ場を CFD でも解析中であり、インピンジメント側の熱伝達率の計算値は概ね実験値と一致するが、フィルム効率は傾向的にも実験と大きく異なり、乱流モデルの影響を調査中である。

4 圧縮機における旋回不安定現象と翼先端漏れ流れ

NASA Rotor37などを対象とした CFD により、圧縮機内での翼先端漏れ流れと旋回不安定性現象との関連について詳細に調査している。また、圧縮機直線翼列試験装置により、翼先端隙間からの漏れ流れが圧縮機内の流れ場に与える影響についても研究している。

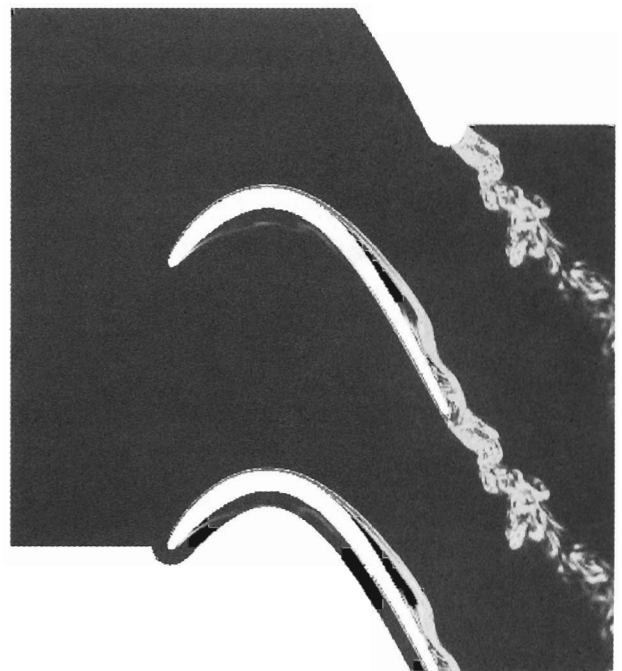


図4 剥離を伴う低圧タービン翼まわりの LES 解析

5 境界層バイパス遷移に関する研究

ターボ機械内の翼面境界層は様々な擾乱の影響を受けてバイパス遷移とよばれる遷移過程を経て乱流化すると理解されている。研究室では上述の様にかなり早い段階でこの問題に取り組み、現在では、熱線流速計による境界層計測でバイパス遷移の素過程と流れの構造の解明を行っている。そのため、7ch 同時計測用プローブを開発するとともに、点源・細線擾乱発生装置を新たに開発している。実験と並行して、間欠度方程式モデルを用いた遷移モデルの開発を進めている。

以上のテーマの他にも、紙面等の都合で詳細はここでは紹介できないが、新たな数値解法の開発や、図5に示す円柱を用いた流体関連振動問題（今年度から研究室に参加された谷口先生を中心としたテーマ）、翼表面粗さの効果が翼まわりの熱伝達に与える効果に関する翼列試験、二次流れ制御に関する翼列試験、翼面上フィルム効率に関する翼列試験、遺伝的アルゴリズムによる最適化、リアル形状脳動脈瘤を有する脳動脈の流体-構造連成問題、など、様々な研究テーマに取り組んでいる。

多くの方のご支援と、優れた能力と熱意に溢れた学生が数多く研究室に来てくれたこともあり、ある程度整っ

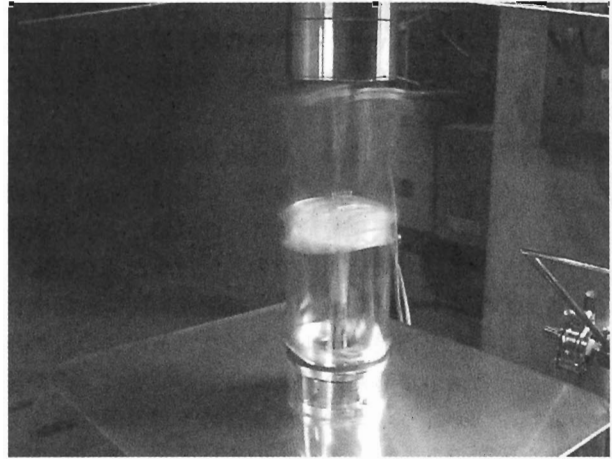


図5 円柱のロックイン振動

た環境で研究を行えるところまでこぎ着けた。まだ足りない部分も多いが、共同研究などは積極的に展開したいと考えており、気軽にご相談いただければと思う。なお、研究室での研究成果については、下記のサイトで公開しているので、ご興味を持たれた方はご覧頂きたい。

URL <http://turbo.mech.iwate-u.ac.jp/Fel/paper1.htm>



第35回ガスタービン定期講演会（岐阜）・見学会のお知らせ

平成19年度のガスタービン定期講演会を以下のとおり岐阜県にて開催いたします。講演募集の内容、講演申込締切、見学会等の詳細につきましては、学会誌3月号及び学会ホームページにてお知らせします。

開催日：2007年9月19日(水)、20日(木)

開催場所：長良川国際会議場

岐阜市長良福光2695-2

見学会を9月21日(金)に予定しています。

なお、講演申込締切は5月末頃、講演原稿締切は7月末頃の予定です。