

7.

流体工学

7・1

まえがき

流体工学分野は基礎的側面から応用上の問題まで極めて範囲が広く、全分野を網羅して解説することはできないため、2003年は乱流現象の構造と遷移乱流の二つについて取り上げることにする。まず、乱流現象の構造に関しては、境界層、噴流および後流、複雑管路内流れを対象として解説する。ここでは、時代を反映して、さまざまな流れ場について制御が多く取り上げられており、またそのためのMEMS (Microelectro-Mechanical Systems) などによる技術の開発も盛んになされている。一方、数値計算による乱流の解明では、計算機の著しい発展により、手法として直接数値計算 (DNS) を用いるものが圧倒的に多い。また、乱流モデルによる方法では、Large-Eddy Simulation (LES) を利用する手法が優勢のようである。他方、遷移乱流については、非圧縮性の場合でも現象の理解を得るまでには、まだ道のりがあるようで、各種の因子が遷移現象に及ぼす効果を調査している段階である。ただ、流体機械の応用面で流れのはく離と関連した遷移の問題が扱われるようになってきた。圧縮性を伴う場合は、いっそう複雑で定量的な評価にはまだ至っておらず、古くから解明されてきた手法に新しい考え方や解析手法を利用して、定性的にでも解を得る努力がなされている。

〔大坂 英雄 山口大学〕

7・2

乱流現象の構造

7・2・1

境界層

境界層に関する研究は、相似則、外力および境界条件の影響、流れの制御を目的としたものに大別される。

a. 相似則 乱流境界層における相似則の妥当性や含まれる数値定数の普遍性が盛んに議論されている。従来から知られている対数法則と近年その優位性が主張されてきたべき法則の妥当性が、高レイノルズ数 (運動量厚さに基づくレイノルズ数 R が20 000程度) における実験データに基づいて検証されている。プリンストン大学において開催されたIUTAMシンポジウム⁽¹⁾において、乱流量も含めた検討結果が報告されている。対数法則およびべき法則における検証結果を参考に、一般化された対数法則が提案されている。乱れ強さおよびレイノルズせん断応力の相似性に関しては、主として空間分解能の問題による計測の不確かさのため、高レイノルズにおける壁法則の成立は確認できていない。これに関して、乱流境界層の平均速度に関するデータベースの構築とその発展の必要性および指針が提案されている⁽²⁾。レイノルズ数は $R = 10\ 000$ で十分であること、壁面せん断応力と平均速度は独立に計測すべきこと、法則の妥当性を見極めるには摩擦速度で無次元化した平均速度の不確かさが1~2%以内であること、平均速度こう配が高精度で算出でき

るように考慮されていること、さらに可能な限り高次の統計量のデータの取得がなされていることが記されている。さらに、変動速度の確率密度分布の特性に基づいて対数法則を導く方法も提案されている⁽³⁾。

b. 外力および境界条件の影響 表面粗さに関する報告が比較的多い。粗さキャノピーにおける流れの力学の考察と代表寸法の提案がなされている⁽⁴⁾。粗さ要素近傍の乱流輸送機構の粗さピッチによる変化が示されている⁽⁵⁾。完全粗面領域における境界層へのべき法則の適用が試みられ、数値定数の粗さレイノルズ数への依存性が対数法則よりも低いことが報告されている⁽⁶⁾。粗面上の壁領域における小スケールの構造に対する非等方性の影響⁽⁷⁾、さまざまな溝形状の単一粗さ要素が境界層に及ぼす影響⁽⁸⁾などが調査されている。外力としては遠心力の影響が明らかにされている⁽⁹⁾。

c. 流れの制御 実用化レベルにある渦発生器による境界層制御において、新しい渦導入方法の工夫がなされている。可動渦発生器により縦渦が導入された流れ場の調査⁽¹⁰⁾が報告されている。スパン方向に配列された噴流によるアクティブ制御が実施され、壁面圧力変動と平均壁面せん断応力がそれぞれ15%および7%低減することを実現している⁽¹¹⁾。このほかに、スパン方向に配列したスロットからの間欠的吹出しやマイクロデバイスの操作による乱流境界層制御⁽¹²⁾の試みがいくつか報告されてきている。高分子の注入による抵抗低減操作において、滑面上よりも粗面上で低減率が大きくなることが壁面せん断応力の直接測定から明らかにされている⁽¹³⁾。リブレットや振動壁面による抵抗低減の機構における横方向運動がレビューされ、その重要性が指摘されている⁽¹⁴⁾。このほか、境界層の実験的研究の進展において、壁面せん断応力、壁近傍における変動速度⁽¹⁵⁾および変動渦度の計測手法の開発が進められている。

〔望月 信介 山口大学〕

7・2・2

乱流現象の構造
- 噴流および後流 -

噴流の研究は多岐にわたるため、すべての内容を解説することは困難であり、内容を主として以下の2点に絞ることにする。まず、噴流による渦の生成ならびに噴流と渦の相互作用については、横断流中に噴出する円噴流により形成される渦とノズル形状 (アスペクト比の変化) の関係⁽¹⁶⁾、乱流境界層中に噴出する流れにより形成される渦の挙動⁽¹⁷⁾や渦による乱流構造への影響⁽¹⁸⁾、周期的変動を付加した縦渦と壁面噴流との干渉過程におけるレイノルズ応力分布⁽¹⁹⁾などが調べられている。

次に、近年、特に期待が高まりつつある噴流を用いた流れの制御については、渦発生ジェットを用いた後方ステップ再付着流れの制御⁽²⁰⁾、ノズル内に設置した二次元柱後流によるパッシブな噴流の混合・拡散作用の制御⁽²¹⁾、水噴射による高速噴流の乱れとノイズの抑制⁽²²⁾に関する制御法が試みられている。このほか、旋回噴流について、渦崩壊前の不安定現象をLIF (Laser Induced Fluorescence) により調べた報告⁽²³⁾や渦崩壊現象のDNS (Direct Numerical Simulation) による数値解析⁽²⁴⁾

などがある。また、衝突噴流について、レイノルズせん断応力分布に及ぼす壁面曲率の影響⁽²⁵⁾や至近距離衝突の場合のノズルの壁厚さと形状の影響⁽²⁶⁾が調査されている。

後流の研究についても種々分類が考えられるが、ここでは物体形状の影響と後流の制御の二つの視点から述べる。論文数は前者が圧倒的に多いが、物体形状の影響に関する研究の範ちゅうに入れた論文にも、例えば二本の円柱の片方を振動させたもの⁽²⁷⁾などのように後流の制御と密接に関連する内容も含まれ、後流における流体制御の研究の増加を暗示している。物体形状については主として二次元と三次元物体の研究に分類され、さらにそれらを複数配置したもの(翼列なども含む)に細分化される。

まず二次元(的)流れについては、2本の円柱の流れに対し並列に配置した研究が実験⁽²⁷⁾、数値計算⁽²⁸⁾により行われている。いずれもレイノルズ数(Re)は低く、円柱間距離と流れのパターンとの相関やロックイン現象に着目している。高Re数までの広い範囲について、流体として水と空気の方を用いた同種の実験報告⁽²⁹⁾もある。また単円柱による研究報告もあるが、円柱を回転させたもの⁽³⁰⁾、円柱を加熱して対流を発生させたもの⁽³¹⁾、さらに微小圧力変動に注目してエオルス音を数値解析したもの⁽³²⁾など各種の報告もある。一方、角柱を用いた二次元(的)流れにおいては、スパン方向の変化に注目したLIF可視化の解析結果⁽³³⁾やPIV(Particle Image Velocimetry)による実験報告⁽³⁴⁾がある。また薄いフェンスの後流にマイクロフォン列を設置し乱れ構造を調べた研究⁽³⁵⁾が報告されている。

次に、三次元物体後流の基礎的研究として、円環の後流における遷移モード⁽³⁶⁾、軸対称物体の乱流後流に及ぼす物体形状およびレイノルズ数による影響⁽³⁷⁾、アスペクト比が2および3の矩形平板における後流⁽³⁸⁾、大きな傾斜角を有する傾斜円柱の後流⁽³⁹⁾などが調べられている。より複雑な流れ場を扱った研究も多く、その例として、平板乱流境界層中に設置された球まわりの流れと境界層の相互作用の研究⁽⁴⁰⁾や、乗用バス形状を模擬した物体まわりの流れ場をLES(Large-Eddy Simulation)解析した研究⁽⁴¹⁾などがある。さらに物体に複雑な運動を与えた場合の後流の研究もあり、同一周期でヒーピング運動とピッチング運動を同時に行う対称翼型(厚み比0.3, アスペクト比3.0)の後流が色素を用いて可視化され、流れの三次元構造が調べられている⁽⁴²⁾。

後流制御の観点から、柱状鈍頭物体の側壁に圧電素子駆動による微小振動板を複数枚設置し、スパン方向において同位相で振動するモードとスパン方向中心位置を境として180°の位相差で振動するモードで側壁下流の境界層を励起した場合のカルマン渦列の挙動などが調査されている⁽⁴³⁾。

〔川添 博光, 原 豊 鳥取大学, 檜原 秀樹 愛媛大学〕

7.2.3 複雑管内流れ

複雑管内流れに関する研究は、各種工業プラントの発展に連動して、熱交換器、ターボ機械、エンジンなどの工業機器に連結する配管・ダクト系内の流れを対象としてきている。そのため、流体輸送の乱流現象そのものよりも、立体的に複雑に屈曲した管路や回転する管路内の流れや、管路内の流れ自身が大規模な旋回渦を伴う三次元流れを、主要な研究対象としている。近年では、新しい研究対象として、MEMS(Micro-Electro-Mechanical-Systems)に関連するマイクロプラントや、バイオメカニクスの呼吸器、循環器における三次元流れに関する研究が活発化する動向にある。

MEMSの流体工学上の研究は、当初研究されていた気体流れを制御するアエロMEMSから、混合反応を伴う液体流れのマイ

クロプラントを目論むバイオMEMSやエネルギーMEMSの開発へ、力点が移りつつあるように思われる。マイクロ管路内の粘性液体流れは、従来の大型工業プラント設計では想定されていない低レイノルズ数(Re < 10)流れとなるので、流体輸送の圧力損失係数は非常に増大し、一方、伝熱特性や混合特性は著しく低下する。低Re数流れの熱および運動量伝達・交換特性を改善するために、流路壁面に三次元粗さ要素を設置し、要素配置の対称・非対称分布が流量に及ぼす影響を数値計算した実用的な設計資料⁽⁴⁴⁾が提示されている。また、壁面に設置された渦発生器(Vortex Generator)による三次元流れの流動パターンをLDV(レーザドップラ流速計)計測⁽⁴⁵⁾した報告もなされている。流れの制御の視点から、流れの三次元化(乱流化)によって、低Re数流れの抵抗低減を目指した研究もなされている。ターボ機械のマイクロ化研究としては、スパイラル状に渦巻くマイクロ流路溝を円盤面上に加工し、対面シュラウド円盤を回転させて、作動流体のバイオ液体中に浮遊する細胞を破壊しないよう配慮した特殊なマイクロポンプ⁽⁴⁶⁾が開発されている。ポンプのQ・H(流量・ヘッド)性能はほぼ直線を描き、回転円盤が駆動する溝内のクエット流れがスパイラル状曲がり流路内の圧力差を誘起すると仮定した近似解析の結果とおおむね一致している。この流動状況に類似した曲がり溝内の三次元渦流れを可視化した実験⁽⁴⁷⁾も報告されている。リング状の曲がり溝を用いて、二次元キャピティ流れを三次元無限長流路内のキャピティ流れに拡張し、クエットせん断方向へ渦軸が配向するゲルトラー渦(Goertler Vortex)の挙動を可視化するとともに、CFD(Computational Fluid Dynamics)の結果と比較した研究もなされている。せん断速度の増大につれて、せん断面近くに発生する横渦と溝底面近くのゲルトラー型縦渦は干渉し、その三次元渦構造は時空間的に不規則な周期性を発生、発達させて、乱流化するものと予想される。これらのほかに、マイクロ流路壁の滑り条件を考慮し、低Re数域における曲がり管内流れの摂動解析解⁽⁴⁸⁾を導出した報告もある。

従来の工業プラントに関連する複雑管内流れも依然として活発に研究されている。発電プラントの熱交換器に見られる波状に繰り返し蛇行するU字細管内流れについて、U字曲がり管部の曲率半径Rcを種々変えて、広範囲のRe数のもとで圧力損失係数を計測し、ディーン数De = Re d/Rc(dは管直径)を用いて整理した実用的な実験式⁽⁴⁹⁾が提示されている。また、正方形断面を有する180°ダクトの管軸を半径方向として回転させる非常に複雑な管内乱流について、流動パターンを詳細にLDV計測した実験⁽⁵⁰⁾も報告されている。このような流れ場では回転と曲がりによって発生するコリオリ力と遠心力の両者が作用する著しく複雑な三次元乱流場が形成され、回転が強くなると、曲がり部における二次流れの発生は対称なディーン渦(Dean Vortex)対から単一の大規模な旋回渦へと変化するとともに、乱れのエネルギーの管断面平均値も増加する。CFDを利用する三次元複雑管内流れの研究も多い。タービン回りの旋回流れにおける角運動量の収支をCFDで調査した結果⁽⁵¹⁾が報告されている。これによると、市販のCFDコードの計算スキームでは角運動量の計算結果に誤差を含むため、旋回を伴う管内流れの通過流量を正確に予測できない可能性があることが指摘されている。また、大型工業プラントの管路設計において設計作業のコストを低減するために、市販のCFDコードを利用して、バンド・エルボ・ディフューザなどの配管要素を含む三次元複雑配管の設計作業を効率化する知識ベースの試み⁽⁵²⁾も報告されている。これらのほかに、咽喉部から肺に至る呼吸器の気道における三次元複雑管内流れについて、数種類の低Re数型乱流モデルによるCFD結果⁽⁵³⁾を比較した報告もある。

〔高見 敏弘 岡山理科大学, 角田 勝 広島大学〕

7.2.4

乱流現象の構造
- 数値計算 -

乱流の数値計算による解析について説明する。論文に発表された研究内容は、大きく二つの方向に向けられている。一つは三次元または二次元の周期箱の中の流れを、一般的なフーリエ級数によるスペクトル法で直接数値計算(DNS)を行い、その結果の解析により、乱流現象、乱流構造を解明しようとするものである。数値計算は方法論的にはすでに完成した手法であるが、近年、超並列型計算機の発展により、三次元でも最大 4096^3 にも及ぶ巨大な計算が実行されるようになってきている。これには、特に日本の研究者の貢献が大きい⁽⁵⁴⁾。同様の数値実験に基づいて、秩序渦構造⁽⁵⁵⁾、流体要素の変形⁽⁵⁶⁾、スケージング則⁽⁵⁷⁾、パッシブスカラ⁽⁵⁸⁾、粒子の相対拡散⁽⁵⁹⁾⁻⁽⁶¹⁾、非等方効果⁽⁶²⁾、成層効果⁽⁶³⁾⁻⁽⁶⁵⁾、回転効果⁽⁶⁶⁾などが研究されている。一方、スキーム間の計算精度の比較⁽⁶⁷⁾、ウェーブレット(Wavelet)の積極的な応用⁽⁶⁸⁾⁽⁶⁹⁾なども計算力の進化にあわせて検討されるべき課題であろう。二次元でも活発な研究が続けられていて、発散効果⁽⁷⁰⁾、f-面効果⁽⁷¹⁾、エンストロフィーカスケードの研究⁽⁷²⁾、回転系における秩序渦⁽⁷³⁾、熱対流の間欠性⁽⁷⁴⁾などが挙げられる。もちろん、チャンネル流についてもDNSは実行されている⁽⁷⁵⁾⁻⁽⁷⁷⁾が、複雑な流れでは乱流モデルが多く用いられている。

もう一方の研究方向は乱流モデルを用いるものである。注目すべきは乱流モデルにおけるLESの優勢で、非常に多くの論文がLESの適用、またはLESモデル自体の研究に向けられている。基礎的な研究としては、周期乱流場の微細構造を調べた研究⁽⁷⁸⁾、新しいILESモデルの提案⁽⁷⁹⁾⁻⁽⁸²⁾、境界条件の処理法⁽⁸³⁾、有限要素法との組み合わせの検討⁽⁸⁴⁾、LESモデルの適用性⁽⁸⁵⁾や誤差⁽⁸⁶⁾⁽⁸⁷⁾の検討がある。シア一流の研究では、圧縮性流⁽⁸⁸⁾⁻⁽⁹⁰⁾、反応流⁽⁹¹⁾⁽⁹²⁾(DNSもある⁽⁹³⁾⁽⁹⁴⁾)、界面変形効果⁽⁹⁵⁾⁽⁹⁶⁾(DNSでは⁽⁹⁷⁾⁽⁹⁸⁾)などさまざまな効果が取り入れられている。またLESに関連の深いモデルを取り扱った研究⁽⁹⁹⁾⁽¹⁰⁰⁾も挙げられる。LES以外の乱流モデルではラグランジュ的な効果を取り入れたもの⁽¹⁰¹⁾⁽¹⁰²⁾、混合長モデル⁽¹⁰³⁾、レイノルズストレスモデル⁽¹⁰⁴⁾などがある。

【柳瀬眞一郎 岡山大学, 荒木 圭典 岡山理科大学】

7.3

遷移乱流

7.3.1

非圧縮性

層流の不安定性、乱流への遷移現象に関する研究は2003年も活発に行われており、本節では非圧縮流についての主な結果の内容を絞って述べる。

壁面流では境界層流の不安定性、遷移現象の研究が数多い。その不安定化から生じる遷移進行過程は概略が判明しているものの、詳細については不明な点が多く、加えてさまざまな因子が遷移に及ぼす影響も未解明な点が多い。その各種の因子の影響について、平板上、翼面上、および回転円板上の境界層において、主流の乱れ⁽¹⁰⁵⁾⁻⁽¹⁰⁸⁾、加速⁽¹⁰⁵⁾⁽¹⁰⁶⁾、表面の凹凸⁽¹⁰⁵⁾⁽¹⁰⁹⁾、加熱⁽¹⁰⁹⁾、騒音⁽¹⁰⁷⁾、表面粗さ⁽¹¹⁰⁾などの実験が行われ、変動量やストリーク構造に及ぼす影響が調べられている。また平板境界層の自然遷移過程におけるストリーク構造に注目した計算⁽¹¹¹⁾や、人工的にストリークを導入した実験⁽¹¹²⁾も行われている。強制的遷移としてはほかに、横渦を導入した実験⁽¹¹³⁾と計算⁽¹¹⁴⁾、丘状表面やステップによる不安定効果に関する計算⁽¹¹⁵⁾が行われている。

流体機械の実用上の問題として、低圧タービン翼上の境界層

のはく離を伴う遷移の計算や⁽¹¹⁶⁾、タービン翼列を想定した周期的な後流通過による遷移の実験が行われている⁽¹¹⁷⁾。他の壁面流に関する研究として、クエット流の速度分布をわずかに変形させたときの安定解析をしたもの⁽¹¹⁸⁾、クエット流中に設置した球の強制振動による遷移の実験がある⁽¹¹⁹⁾。またチャンネル流において吹出し、吸込みによる垂直方向の速度成分を伴う場合の安定解析をした例がある⁽¹²⁰⁾。

自由流では平面噴流の安定解析と実験が行われ、噴流中に波が発生し、これが崩壊して不安定化することが示されている⁽¹²¹⁾。また同軸噴流において、ケルビン-ヘルムホルツ不安定により渦輪が形成されて遷移する過程が計算されている⁽¹²²⁾。このほか、高迎角翼からはく離した流れでは遷移への主要な経路が二つあることを明らかにした計算⁽¹²³⁾、角柱後流の渦放出と円柱後流のそれとの相違を明らかにした実験⁽¹²⁴⁾が行われている。また密度こう配を有する強安定性層流中の内部重力波の遷移過程の実験が報告されている⁽¹²⁵⁾。

【一宮 昌司 徳島大学】

7.3.2

圧縮性

圧縮性流れにおける層流乱流遷移現象は、非圧縮性流れと類似な現象であるが、マッハ数の影響や壁面の温度条件、さらに主流気流変動条件などによって大きな影響を受けることから、詳細な事柄についてはいまだによく理解されていない。実験結果と理論予測とが詳細について定量的に食い違うことも多い。したがって、実用的な問題に適用するとき、一部の条件しか明確でない場合は圧縮性流れにおける遷移の予測精度は相対的に低下せざるを得ない。従来からもっとも良く理解され整理されてきているのが、かく乱が微小な段階における理論的予測と実験的研究である。1955年にゲルトラー渦、1956年にTS波に関して開発された手法(eⁿ法)が、50年近く経た今でも境界層の遷移位置予測のために広く使用されている。この方法は最近でもたびたび指摘されているように、取扱いが不完全な点が多々あるが、二次元的な流れにおいてはファクターNが9~10で遷移するとし、亜音速流れのみならず、遷音速・超音速流れにおいても実験データと比較的高い相関性があり、工業上有効な方法である。理由は低速流れにおいては非線形過程が比較的短いためとされている。基礎となる理論は局所理論もしくは非局所理論とよばれる方法で、局所理論のほうは歴史が長くその手法はよく知られている。かく乱に関するだ円型方程式を解くアイディア(PSE: Parabolized Stability Equations)は非局所理論と呼ばれ、Hall(1983)によって与えられている。これらに関する実用問題への応用⁽¹²⁶⁾⁻⁽¹²⁸⁾も多く報告されている。一方、非局所理論結果に対する検証として、直接数値シミュレーション(DNS)が有望である。DNSはフーリエスペクトル法など高精度の微分法を行うため、対象となる流れが単純な幾何学形状にならざるを得ないことで工学上の応用を妨げる原因であったが、高解像度差分スキームの開発が進むことにより著しく改善されてきている。この手法を用いて超音速境界層における遷移が取り扱われているのをはじめ⁽¹²⁹⁾⁻⁽¹³¹⁾、極超音速および超音速流れに適応した高解像度スキームを用い、衝撃波捕獲法⁽¹³²⁾や衝撃波フィッティング法⁽¹³³⁾によってかく乱受容性について調べられている。最近では圧縮性流れについても非モード的かく乱の成長に注目が集まっている。これは微小かく乱(モード)が成長することを飛び越して(またはバイパスして)急激に遷移過程が始まり、乱流スポットへ発達するものとされている。主流乱れや表面粗さなどさまざまな原因によってバイパス遷移現象⁽¹³⁴⁾がおこり、実用問題として重要な課題となっている。超音速流れにおける遷移予測理論は鋭い円すい形状物体⁽¹³⁵⁾や

後退翼⁽¹²⁷⁾, その他⁽¹³⁶⁾に適用されている.

自由せん断流における遷移現象についてみると, 混合層をはじめ多くの流れについて圧縮性の影響が調べられている. 境界層と異なり変曲点不安定が主要な遷移の引き金となる自由せん断流においては, 移流マッハ数と温度・密度比によって成長率は決まり, マッハ数が増加すると一般にかく乱成長率は小さくなり, また音響モードと呼ばれる圧縮性固有の不安定モードが複数現れてくる. 不安定モードを求める安定性理論は非粘性圧縮性オイラー方程式に対して直接スペクトル法が開発されているが, 最近, 粘性圧縮性流れにおいても直接法(チビシェフ級数やフーリエ級数を基本とした方法)が開発されてきている⁽¹³⁴⁾⁽¹³⁷⁾⁽¹³⁸⁾. 一方, DNSによって圧縮性流れの遷移過程が詳細に調べられている. 例えば, 噴流⁽¹³⁷⁾や後流⁽¹³⁸⁾においては, 遷移シナリオに不安定モードの特徴が大きな影響を与えており, 非線形過程においてひずみテンソルと渦度の相互作用が遷移構造を決めることが明らかにされている⁽¹³⁷⁾⁽¹³⁸⁾. 非線形過程において圧縮性固有の影響が生じるが, マッハ数が非常に大きくない限りひずみテンソルと渦度の相互作用が支配的であり, 線形過程における不安定性かく乱の成長率に及ぼすマッハ数の影響のほうが深刻である. したがって, 自由せん断流れが極めて低乱れである状態では, 境界層と同様に線形問題は依然として主要な位置を占めており, 遷移初期段階からの研究が応用上極めて重要である. 他方, 主流乱れが大きい場合は, むしろ非線形過程が初期に役割を果たすため, 非圧縮流れと強さは異なるものの, 類似な三次元流れ構造が観察される原因であるとされている⁽¹³⁸⁾. [前川 博 広島大学]

文 献

- (1) Smits, A.J. (Ed.), IUTAM Symposium on Reynolds Number Scaling in Turbulent Flow, (2003), Kulwer Academic Publisher.
- (2) Buschmann, M.H. and Gad-el-Hak, M., Database Concerning the Mean-Velocity Profile of a Turbulent Boundary Layer, *AIAA J.*, 41-4 (2003), 565-572.
- (3) 辻 義之, レイノルズ数が小さい乱流境界層の対数速度領域における確率密度分布, *ながれ*, 22 (2003), 193-199.
- (4) Belcher, S.E., Jerram, N. and Hunt, J.C.R., Adjustment of a Turbulent Boundary Layer to a Canopy of Roughness Element, *J. Fluid Mech.*, 488 (2003), 369-398.
- (5) 亀田孝嗣・大坂英雄・望月信介, k形粗面境界層の粗さ要素近傍における乱流輸送機構, 日本機械学会論文集, 69-686, B (2003), 2260-2267.
- (6) Kotev, N.A., Borgstrom, D.J. and Tachie, M.F., Power Law for Rough Wall Turbulent Boundary Layers, *Phys. Fluids*, 15-6 (2003), 1396-1401.
- (7) Tuji, Y., Large-Scale Anisotropy Effect on Small-Scale Statistics over Rough Wall Turbulent Boundary Layers, *Phys. Fluids*, 15-12 (2003), 3816-3828.
- (8) Ching, S.C.Y., The Response of a Turbulent Boundary Layer to Different Shaped Transverse Grooves, *Exp. Fluids*, 35 (2003), 325-337.
- (9) 長谷川 豊・ほか, 回転曲面上の境界層流れに関する研究(ゲルトラ渦の発生および発達に及ぼす系の回転の影響), 日本機械学会論文集, 69-688, B (2003), 2590-2597.
- (10) 水崎善之・志澤高朗・本阿弥真治, 可動渦発生器下流に生ずる縦渦の周期的挙動(条件付き時間平均速度場の応答), 日本機械学会論文集, 69-688, B (2003), 2585-2589.
- (11) Rathnasigham, R. and Breure, K.S., Active Control of Turbulent Boundary Layers, *J. Fluid Mech.*, 495 (2003), 209-233.
- (12) Diez, F.J. and Dahm, W.J.A., Electrokinetic Microactuator Arrays and System Architecture for Active Sublayer Control of Turbulent Boundary Layer, *AIAA J.*, 41-10 (2003), 1906-1915.
- (13) Petrie, H.L.ほか, Polymer Drag Reduction with Surface Roughness in Flat-plate Turbulent Boundary Layer Flow, *Exp. Fluids*, 35 (2003), 8-23.
- (14) Karnidakis, G.K. and Choi, K.-S., Mechanisms on Transverse Motions in Turbulent Wall Flows, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, 35 (2003), 45-62.
- (15) Shi, J.-M.ほか, Analysis of Heat Transfer from Single Wire Close to Walls, *Phys. Fluids*, 15-4 (2003), 908-921.
- (16) New, T. H., Lim, T. T. and Luo, S. C., Elliptic Jets in Cross-Flow, *J. Fluid Mech.*, 494 (2003), 119-140.
- (17) Rixon, G. S. and Johari, H., Development of a Steady Vortex Generator Jet in a Turbulent Boundary Layer, *Trans. ASME, J. Fluids Eng.*, 125 (2003), 1006-1015.
- (18) Zhang, X., The Evolution of Co-rotating Vortices in a Canonical Boundary Layer with Inclined Jets, *Phys. Fluids*, 15-12 (2003), 3693-3702.
- (19) 山田誠治・望月信介・大坂英雄, 周期的変動を付加した縦渦による壁面噴流の操縦(レイノルズ応力分布に与える周期的変動の影響), 日本機械学会論文集, 69-686, B (2003), 2268-2275.
- (20) 森岡 禎・本阿弥真治, 渦発生ジェットによる後方ステップ流れの制御(再付着領域壁面近傍流れの動的特性), 日本機械学会論文集, 69-680, B (2003), 801-807.
- (21) 宮越勝美・羽二生博之, ノズル内の二次元物体によってパッシブ制御された二次元噴流の組織構造, 日本機械学会論文集, 69-678, B (2003), 338-345.
- (22) Krothapalli, A., Venkatakrisnan, L., Lourenco, L., Greska, B. and Elavarasan, R., Turbulence and Noise Suppression of a High-speed Jet by Water Injection, *J. Fluid Mech.*, 491 (2003), 131-159.
- (23) Loiseleux, T. and Chomaz, J.-M., Breaking of Rotational Symmetry in a Swirling Jet Experiment, *Phys. Fluids*, 15-2 (2003), 511-523.
- (24) Ruih, M.R., Chen P., Meiburg, E. and Maxworthy, T., Three-dimensional Vortex Breakdown in Swirling Jets and Wakes: Direct Numerical Simulation, *J. Fluid Mech.*, 486 (2003), 331-378.
- (25) Chan, T. L., Zhou, Y., Liu, M. H. and Leung, C. W., Mean Flow and Turbulence Measurements of the Impingement Wall Jet on a Semi-circular Convex Surface, *Experiments in Fluids*, 34 (2003), 140-149.
- (26) 社河内敏彦・杉本秀樹・安藤俊剛・辻公一・田辺 剛, 至近距離で平板に衝突する円形噴流の流動と伝熱特性およびその制御(ノズル壁厚さ, 形状の影響), 日本機械学会論文集, 69-686, B (2003), 2305-2312.
- (27) Lai, W. C., Zhou, Y., So, R. M. C. and Wang, T., Interference between Stationary and Vibrating Cylinder Wakes, *Phys. Fluids*, 15-6 (2003), 1687-1695.
- (28) Kang, S., Characteristics of Flow over Two Circular Cylinders in a Side-by-Side Arrangement at Low Reynolds Numbers, *Phys. Fluids*, 15-9(2003), 2486-2498.
- (29) Xu, S. J., Zhou, Y. and So, R. M. C., Reynolds Number Effects on the Flow Structure behind Two Side-by-Side Cylinders, *Phys. Fluids*, 15-5(2003), 1214-1219.
- (30) Mittal, S. and Kumar, B., Flow Past Rotating Cylinder, *J. Fluid Mech.*, 476 (2003), 303-334.
- (31) Kieft, R. N., Rindt, C. C. M., Van Steenhoven, A. A. and Van Heijst, G. J. F., On the Wake Structure behind a Heated Horizontal Cylinder in Cross-Flow, *J. Fluid Mech.*, 486 (2003), 189-211.
- (32) Inoue, O., Mori, M. and Hatakeyama, N., Control of Aeolian Tones Radiated from a Circular Cylinder in a Uniform Flow, *Phys. Fluids*, 15-6 (2003), 1424-1441.
- (33) Luo, S. C., Chew, Y. T. and Ng, Y. T., Characteristics of Square Cylinder Wake Transition Flows, *Phys. Fluids*, 15-9(2003), 2549-2566.
- (34) Mills, R., Sheridan, J. and Hourigan, K., Particle Image Velocimetry and Visualization of Natural and Forced Flow around Rectangular Cylinders, *J. Fluid Mech.*, 478 (2003), 299-323.
- (35) Hudy, L. M. and Naguib, A. M., Wall-Pressure-Array Measurements beneath a Separating/Reattaching Flow Region, *Phys. Fluids*, 15-3 (2003), 706-717.
- (36) Sheard, G. J., Thompson, M. C. and Hourigan, K., From Spheres to Circular Cylinders: the Stability and Flow Structures of Bluff Ring Wakes, *J. Fluid Mech.*, 492 (2003), 147-180.
- (37) Johansson, P. B. V., George, W. K. and Gourlay, M. J., Equilibrium Similarity, Effects of Initial Conditions and Local Reynolds Number on the Axisymmetric Wake, *Phys. Fluids*, 15-3 (2003), 603-617.
- (38) 田坂裕司・石川 仁・望月 修・木谷 勝, 矩形板後流の統計的特性, 日本機械学会論文集, 69-679, B (2003), 568-573.
- (39) Marshall, J. S., Wake Dynamics of a Yawed Cylinder, *Trans. ASME, J. Fluids Eng.*, 125 (2003), 97-103.
- (40) 筒井敬之, 平板乱流境界層内に設置された球まわりの流れ, 日

- 本機械学会論文集, 69-681, B (2003), 1089-1096.
- (41) Krajnovic, S. and Davidson, L., Numerical Study of the Flow around a Bus-Shaped Body, *Trans. ASME, J. Fluids Eng.*, 125 (2003), 500-509.
- (42) Von Ellenrieder, K. D., Parker, K. and Soria, J., Flow Structures behind a Heaving and Pitching Finite-Span Wing, *J. Fluid Mech.*, 490 (2003), 129-138.
- (43) 小田 学・山本芳久・古川雅人・井上雅弘, 境界層微小励起による柱状物体後流の渦放出位相制御, 日本機械学会論文集, 69-685, B (2003), 2030-2036.
- (44) Hu, Y., Werner, C. and Li, D., Influence of Three-Dimensional Roughness on Pressure-Driven Flow through Microchannels, *Trans. ASME J. Fluid Eng.*, 125 (2003), 871-878.
- (45) Dupont, F., Gabillet, C. and Bot, P., Experimental Study of the Flow in a Compact Heat Exchanger Channel with Embossed-Type Vortex Generators, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 701-709.
- (46) Kilani, M.I., Galambos, P.C., Haik, Y.S. and Chen, C.-J., Design and Analysis of a Surface Micromachined Spiral-Channel Viscous Pump, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 339-344.
- (47) Humphrey, J.A.C., Cushner, J., Al-Shannag, M., Herrero, J. and Giralt, F., Shear-Driven Flow in a Toroid of Square Cross Section, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 130-137.
- (48) Wang, C.Y., Slip Flow in a Curved Pipe, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 443-446.
- (49) Chen, I.-Y., Lai, Y.-K. and Wang, C.-C., Frictional Performance of U-type Wavy Tubes, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 880-886.
- (50) Liou, T.-M., Chen, C.-C. and Chen, M.-Y., Rotating Effect on Fluid Flow in Two Smooth Ducts Connected by a 180-Degree Bend, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 138-148.
- (51) Nilsson, H. and Davidson, L., Application of an Angular Momentum Balance Method for Investigating Numerical Accuracy in Swirling Flow, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 723-730.
- (52) Ashrafzadeh, A., Raithby, G.D. and Stubble, G.D., Direct Design of Ducts, *Trans. ASME Fluid Eng.*, 125 (2003), 158-165.
- (53) Zhang, Z. and Kleinstreuer, C., Low-Reynolds-Number Turbulent Flows in Locally Constricted Conduits: A Comparison Study, *AIAA J.*, 41 (2003), 831-840.
- (54) Kaneda, Y., Ishihara, T., Yokokawa, M., Itakura, K. and Uno, A., Energy Dissipation Rate and Energy Spectrum in High Resolution Direct Numerical Simulations of Turbulence in a Periodic Box, *Phys. Fluids*, 15-2 (2003), L21-L24.
- (55) Farge, M., Schneider, K., Pellegrino, G., Wray, A.A. and Rogallo, R.S., Coherent Vortex Extraction in Three-Dimensional Homogeneous Turbulence: Comparison between CVS-wavelet and POD-Fourier Decompositions, *Phys. Fluids*, 15-10 (2003), 2886-2896.
- (56) Goto, S. and Kida, S., Enhanced Stretching of Material Lines by Antiparallel Vortex Pairs in Turbulence, *Fluid Dynamics Res.*, 33 (2003), 403-431.
- (57) Tsuji, Y. and Ishihara, T., Similarity Scaling of Pressure Fluctuation in Turbulence, *Phys. Rev., E*, 68-2 (2003), 026309.
- (58) Schumacher, J. and Sreenivasan, K.R., Geometric Aspects of the Passive Scalar Mixing at High Schmidt Number, *Phys. Rev., Lett.*, 91-17 (2003), 174501.
- (59) Nicolleau, F. and Vassilicos, J.C., Turbulent Pair Diffusion, *Phys. Rev., Lett.*, 90-2 (2003), 024503.
- (60) Davila, J. and Vassilicos, J. C., Richardson Pair Diffusion and the Stagnation Point Structure of Turbulence, *Phys. Rev., Lett.*, 91-14 (2003), 144501.
- (61) Khan, M. A. I., Pumir, A. and Vassilicos, J. C., Kinematic Simulation of Multipoint Turbulent Diffusion, *Phys. Rev., E*, 68-2 (2003), 026313.
- (62) Biferale, L., Boffetta, G., Celani, A., Lanotte, A., Toschi, F. and Vergassola, M., The Decay of Homogeneous Anisotropic Turbulence, *Phys. Fluids*, 15-8 (2003), 2105-2112.
- (63) Godeferd, F.S. and Staquet, C., Statistical Modelling and Direct Numerical Simulations of Decaying Stably Stratified Turbulence. Part 2. Large-scale and Small-Scale Anisotropy, *J. Fluid Mech.*, 486 (2003), 115-159.
- (64) Riley, J.J. and deBruynKops, S.M., Dynamics of Turbulence Strongly Influenced by Buoyancy, *Phys. Fluids*, 15-7(2003), 2047-2059.
- (65) Laval, J.-P., McWilliams, J. C. and Dubrulle, B., Forced Stratified Turbulence: Successive Transition with Reynolds Number, *Phys. Rev., E*, 68 (2003), 036308.
- (66) 新谷賢司・河村 洋, DNSによるエクマン境界層における乱流構造の研究, 日本機械学会論文集, 69-687, B (2003-11), 2416-2423.
- (67) 芳松克則・石原 卓・金田行雄・中井 聡・西田秀利・里深信行, 3次元一様等方性乱流の直接数値シミュレーションにおけるスペクトル法と高次精度差分法との比較, 日本機械学会論文集, 69-679, B (2003-3), 541-546.
- (68) 浜井祐治・大田英輔, Wavelet分解を用いたNavier-Stokes方程式解法スキーム構築の試み, 日本機械学会論文集, 69-678, B (2003-2), 249-257.
- (69) Kestener, P. and Arneodo, A., A Three-Dimensional Wavelet Based Multifractal Method: About the Need of Revisiting the Multifractal Description of Turbulence Dissipation Data, *Phys. Rev., Lett.*, 91 (2003), 194501.
- (70) Okuno, A. and Masuda, A., Effect of Horizontal Divergence on the Geostrophic Turbulence on a Beta-Plane: Suppression of the Rhines Effect, *Phys. Fluids*, 15-1(2003), 56-65.
- (71) Arbic, B.K. and Flierl, G.R., Coherent Vortices and Kinetic Energy Ribbons in Asymptotic, Quasi Two-Dimensional f-Plane Turbulence, *Phys. Fluids*, 15-8 (2003), 2177-2189.
- (72) Biferale, L., Cencini, M., Lanotte, A.S. and Vergni, D., Inverse Velocity Statistics in Two-Dimensional Turbulence, *Phys. Fluids*, 15-4 (2003), 1012-1020.
- (73) Reinaud, J.N., Dritschel, D.G. and Koudella, C.R., The Shape of Vortices in Quasi-Geostrophic Turbulence, *J. Fluid Mech.*, 474 (2003), 175-192.
- (74) Garcia, N. H. and Bian, O. E., Bursting and Large-Scale Intermittency in Turbulent Convection with Differential Rotation, *Phys. Rev., E*, 68 (2003), 047301.
- (75) Orlandi, P., Leonardi, S., Tuzi, R. and Antonia, R.A., Direct Numerical Simulation of Turbulent Channel Flow with Wall Velocity Disturbances, *Phys. Fluids*, 15-12(2003), 3587-3601.
- (76) Coleman, G.N., Kim, J. and Spalart, P.R., Direct Numerical Simulation of a Decelerated Wall-Bounded Turbulent Shear Flow, *J. Fluid Mech.*, 495 (2003), 1-18.
- (77) Leonardi, S., Orlandi, P., Smalley, R.J., Djenidi, L. and Antonia, R.A., Direct Numerical Simulations of Turbulent Channel Flow with Transverse Square Bars on One Wall, *J. Fluid Mech.*, 491 (2003), 229-238.
- (78) Horiuti, K., Roles of Non-Aligned Eigenvectors of Strain-Rate and Subgrid-Scale Stress Tensors in Turbulence Generation, *J. Fluid Mech.*, 491 (2003), 65-100.
- (79) Geurts, B.J. and Holm, D.D., Regularization Modeling for Large-Eddy Simulation, *Phys. Fluids*, 15-1 (2003), L13-L16.
- (80) Martins Afonso, M., Celani, A., Festa, R. and Mazzino, A., Large-Eddy-Simulation Closures of Passive Scalar Turbulence: A Systematic Approach, *J. Fluid Mech.*, 496 (2003), 355-364.
- (81) Vreman, A. W., The Filtering Analog of the Variational Multiscale Method in Large-Eddy Simulation, *Phys. Fluids*, 15-8 (2003), L61-L64.
- (82) Sheikhi, M.R.H., Drozda, T.G., Givi, P. and Pope, S.B., Velocity-Scalar Filtered Density Function for Large Eddy Simulation of Turbulent Flows, *Phys. Fluids*, 15-8 (2003), 2321-2337.
- (83) 池野 勉・梶島岳夫, 複雑形状境界を扱うLESのための高次精度境界埋め込み法, 日本機械学会論文集, 69-686, B (2003-10), 2177-2183.
- (84) 三次市朗・棚橋隆彦, Dynamic SGS モデルを用いたGSMAC有限要素法による平行平板間乱流のLES, 日本機械学会論文集, 69-685, B (2003-9), 1988-1995.
- (85) Kobayashi, H. and Shimomura, Y., Inapplicability of the Dynamic Clark Model to the Large Eddy Simulation of Incompressible Turbulent Channel Flows, *Phys. Fluids*, 15-3 (2003), L29-L32.
- (86) Gullbrand, J. and Chow, F.K., The Effect of Numerical Errors and Turbulence Models in Large-Eddy Simulations of Channel Flow, with and without Explicit Filtering, *J. Fluid Mech.*, 495 (2003), 323-341.
- (87) Meyers, J., Geurts, B.J. and Baelmans, M., Database Analysis of Errors in Large-Eddy Simulation, *Phys. Fluids*, 15-9 (2003), 2740-2755.
- (88) Larcheveque, L., Sagaut, P., Mary, I. and Labbe, O. and Comte, P., Large-Eddy Simulation of a Compressible Flow Past a Deep Cavity, *Phys. Fluids*, 15-1 (2003), 193-210.
- (89) Stolz, S. and Adams, N.A., Large-Eddy Simulation of High-Reynolds-Number Supersonic Boundary Layers Using the

- Approximate Deconvolution Model and a Rescaling and Recycling Technique, *Phys. Fluids*, 15-8 (2003), 2398-2412.
- (90) Mathew, J., Lechner, R., Foysi, H., Sesterhenn, J. and Friedrich, R., An Explicit Filtering Method for Large Eddy Simulation of Compressible Flows, *Phys. Fluids*, 15-8 (2003), 2279-2289.
- (91) Klimenko, A.Y. and Pope, S.B., The Modeling of Turbulent Reactive Flows Based on Multiple Mapping Conditioning, *Phys. Fluids*, 15-7 (2003), 1907-1925.
- (92) Mellado, J.P., Sarkar, S. and Pantano, C., Reconstruction Subgrid Models for Nonpremixed Combustion, *Phys. Fluids*, 15-11 (2003), 3280-3307.
- (93) Pantano, C., Sarkar, S. and Williams, F.A., Mixing of a Conserved Scalar in a Turbulent Reacting Shear Layer, *J. Fluid Mech.*, 481 (2003), 291-328.
- (94) Mitarai, S., Riley, J.J. and Kosaly, G., A Lagrangian Study of Scalar Diffusion in Isotropic Turbulence with Chemical Reaction, *Phys. Fluids*, 15-12 (2003), 3856-3866.
- (95) Calmet, I. and Magnaudet, J., Statistical Structure of High-Reynolds-Number Turbulence Close to the Free Surface of an Open-Channel Flow, *J. Fluid Mech.*, 474 (2003), 355-378.
- (96) Broglia, R., Pascarelli, A. and Piomelli, U., Large-Eddy Simulations of Ducts with a Free Surface, *J. Fluid Mech.*, 484 (2003), 223-253.
- (97) Nagaosa, R. and Handler, R.A., Statistical Analysis of Coherent Vortices Near a Free Surface in a Fully Developed Turbulence, *Phys. Fluids*, 15-2(2003), 375-394.
- (98) Fulgosi, M., Lakehal, D., Banerjee, S. and de Angelis, V., Direct Numerical Simulation of Turbulence in a Sheared Air-Water Flow with a Deformable Interface, *J. Fluid Mech.*, 482 (2003), 319-345.
- (99) Iliescu, T. and Fischer, P.F., Large Eddy Simulation of Turbulent Channel Flows by the Rational Large Eddy Simulation Model, *Phys. Fluids*, 15-10 (2003), 3036-3047.
- (100) Cha, C.M. and Trouillet, P., A Subgrid-Scale Mixing Model for Large-Eddy Simulations of Turbulent Reacting Flows Using the Filtered Density Function, *Phys. Fluids*, 15-6 (2003), 1496-1504.
- (101) Mohseni, K., Kosović, B., Shkoller, S. and Marsden, J.E., Numerical Simulations of the Lagrangian Averaged Navier-Stokes Equations for Homogeneous Isotropic Turbulence, *Phys. Fluids*, 15-2 (2003), 524-544.
- (102) Fox, R.O. and Yeung, P.K., Improved Lagrangian Mixing Models for Passive Scalars in Isotropic Turbulence, *Phys. Fluids*, 15-4 (2003), 961-985.
- (103) Stansby, P.K., A Mixing-Length Model for Shallow Turbulent Wakes, *J. Fluid Mech.*, 495 (2003), 369-384.
- (104) Jin, L.H., So, R.M. and Gatski, T.B., Equilibrium States of Turbulent Homogeneous Buoyant Flows, *J. Fluid Mech.*, 482 (2003), 207-233.
- (105) Schultz, M. P. and Volino, R. J., Effects of Concave Curvature on Boundary Layer Transition Under High Freestream Turbulence Conditions, *Trans. ASME, J. Fluids Eng.*, 125-1 (2003), 18-27.
- (106) Volino, R. J., Schultz, M. P. and Pratt, C. M., Conditional Sampling in a Transitional Boundary Layer Under High Freestream Turbulence Conditions, *Trans. ASME, J. Fluids Eng.*, 125-1(2003), 28-37.
- (107) 徳川直子・木正平・跡部 隆・井門敦志・小濱泰昭, 二次元翼境界層の自然遷移に対する外乱の影響, *ながれ*, 22-6 (2003), 485-497.
- (108) Inasawa, A., Lundell, F., Matsubara, M., Kohama, Y. and Alfredsson, P. H., Velocity Statistics and Flow Structures Observed in Bypass Transition Using Stereo PTV, *Expt. Fluids*, 34-2 (2003), 242-252.
- (109) Maestrello, L., Laminarization of Turbulent Boundary Layer on Flexible and Rigid Surfaces, *AIAA J.*, 41-1 (2003), 34-39.
- (110) Zoueshtiagh, F., Ali, R., Colley, A. J., Thomas, P. J. and Carpenter, P. W., Laminar-Turbulent Boundary-Layer Transition Over a Rough Rotating Disk, *Phys. Fluids*, 15-8 (2003), 2441-2444.
- (111) Brandt, L., Cossu, C., Chomaz, J.-M., Huerre, P. and Henningson, D. S., On the Convectively Unstable Nature of Optimal Streaks in Boundary Layers, *J. Fluid Mech.*, 485 (2003), 221-242.
- (112) 小西康郁・浅井雅人, 層流境界層中の周期低速ストリークの不安定性に関する実験的研究, *日本機械学会論文集*, 69-683, B (2003), 1615-1620.
- (113) Sengupta, T. K., De, S. and Sarkar, S., Vortex-Induced Instability of an Incompressible Wall-Bounded Shear Layer, *J. Fluid Mech.*, 493 (2003), 277-286.
- (114) Wassermann, P. and Kloker, M., Transition Mechanisms Induced by Travelling Crossflow Vortices in a Three-Dimensional Boundary Layer, *J. Fluid Mech.*, 483 (2003), 67-89.
- (115) Wörner, A., Rist, U., and Wagner, S., Humps/Steps Influence on Stability Characteristics of Two-Dimensional Laminar Boundary Layer, *AIAA J.*, 41-2 (2003), 192-197.
- (116) Suzen, Y. B., Huang, P. G., Hultgren, L. S. and Ashpis, D. E., Predictions of Separated and Transitional Boundary Layers Under Low-Pressure Turbine Airfoil Conditions Using an Intermittency Transport Equation, *Trans. ASME, J. Turbomachinery*, 125-3 (2003), 455-464.
- (117) Schobeiri, M. T., Read, K. and Lewalle, J., Effect of Unsteady Wake Passing Frequency on Boundary Layer Transition, Experimental Investigation, and Wavelet Analysis, *Trans. ASME, J. Fluids Eng.*, 125-2 (2003), 251-266.
- (118) Bottaro, A., Corbett, P. and Luchini, P., The Effect of Base Flow Variation on Flow Stability, *J. Fluid Mech.*, 476 (2003), 293-302.
- (119) Antar, G., Bottin, S., Dauchot, O., Daviaud, F. and Manneville, P., Details on the Intermittent Transition to Turbulence of a Locally Forced Plane Couette Flow, *Expt. Fluids*, 34-3 (2003), 324-331.
- (120) Fransson, J. H. M. and Alfredsson, P. H., On the Hydrodynamic Stability of Channel Flow with Cross Flow, *Phys. Fluids*, 15-2 (2003), 436-441.
- (121) Söderberg, L. D., Absolute and Convective Instability of a Relaxational Plane Liquid Jet, *J. Fluid Mech.*, 493 (2003), 89-119.
- (122) da Silva, C. B., Balarac, G. and Métais, O., Transition in High Velocity Ratio Coaxial Jets Analysed from Direct Numerical Simulations, *J. Turbulence*, 4-024 (2003).
<http://www.iop.org/EJ/journal/JoT>
- (123) Hoarau, Y., Braza, M., Ventikos, Y., Faghani, D. and Tzabiras, G., Organized Modes and the Three-Dimensional Transition to Turbulence in the Incompressible Flow Around a NACA0012 Wing, *J. Fluid Mech.*, 496 (2003), 63-72.
- (124) Luo, S. C., Chew, Y. T. and Ng, Y. T., Characteristics of Square Cylinder Wake Transition Flows, *Phys. Fluids*, 15-9(2003), 2549-2559.
- (125) 藤田秀治・大庭勝久, 周期的温度擾乱により制御した内部重力波の遷移過程, *日本機械学会論文集*, 69-681, B (2003), 1097-1104.
- (126) Chang, C.L., Vinh, H. and Malik, M.R., Oblique-mode Breakdown and Secondary Instability in Supersonic Boundary Layers, *J. Fluid Mech.*, 273 (1994), 323-360.
- (127) Malik, M.R. and Li, F., Transition Studies for Swept Wing Flows using PSE, *AIAA Paper 1993-0077*, (1993).
- (128) Wang, M. and Herbert, T., PSE Analysis of Receptivity and Stability in Swept Wing Flows, *AIAA Paper 1994-0180*, (1994).
- (129) Guo, Y., Kleiser, L. and Adams, N.A., A Comparison Study of an Improved Temporal DNS and Spatial DNS of Compressible Boundary Layer Transition, *AIAA Paper 1994-2371*, (1994).
- (130) Sandham, N.D., Adams, N.A. and Kleiser, L., Direct Simulation of Breakdown to Turbulence Following Oblique Instability Waves in a Supersonic Boundary-Layer, *Appl. Sci. Res.*, 54-3(1995) 223-234.
- (131) Pirozzoli, S., Grasso, F. and Gatski, T.B., Direct Numerical Simulation and Analysis of a Spatially Evolving Supersonic Turbulent Boundary Layer at $M=2.25$, *Phys. Fluids*, 16-3 (2004), 530-545.
- (132) Yamashita, K. and Maekawa, H., Direct Numerical Simulations of Hypersonic Boundary layer Receptivity Using Compact Convex Combined Schemes, *AIAA Paper 2001-1798*, (2001).
- (133) Ma, Y.B. and Zhong, X.L., Receptivity of a Supersonic Boundary Layer over a Flat Plate. Part 1. Wave Structures and Interactions, *J. Fluid Mech.*, 488 (2003), 31-78.
- (134) Yahyaoui, A.M. and Maekawa, H., High-Level Noise-Induced Bypass Transition in Compressible Plane Poiseuille Flow, *JSMSE Int. J.*, 45-2, B (2002), 408-418.
- (135) King, R., Mach 3.5 Boundary-layer Transition on a Cone at Angle of Attack, *AIAA Paper 1991-1804*, (1991).
- (136) Ito, T., Randall, L.A. and Schneider, S.P., Effect of Noise on Roughness-induced Boundary-Layer Transition for Scramjet Inlet, *Journal of Spacecraft and Rockets*, 38-5 (2001), 692-698.
- (137) Watanabe, D. and Maekawa, H., Transition of Supersonic Plane Jet due to Symmetric/Antisymmetric Unstable Modes, *Journal of Turbulence*, 3 (2002), 1-17.
- (138) Watanabe, D. and Maekawa, H., Three-Dimensional Evolution of Structure and Acoustic Wave Generation in a Compressible Plane Wake, *Fluid Dynamic Research*, 34 (2004), 145-165.