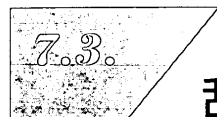


流⁽³⁷⁾、圧縮波の伝ば⁽³⁸⁾などの研究がある。ほかに、円柱構造物の流力振動評価に関して超臨界レイノルズ数領域の乱流励起振動の研究⁽³⁹⁾、ボイラ内の伝熱管表面のすす除去に関する高Re数噴流の研究⁽⁴⁰⁾などがある。特に、航空・宇宙分野では、流れ場は必然的に高Re数であり、次世代超音速機の層流翼上に形成される超音速境界層の風洞実験⁽⁴¹⁾や、超高速インテークの空力性能向上⁽⁴²⁾、宇宙往還の再突入時を模擬する高エンタルピー衝撃風洞⁽⁴³⁾の研究がなされた。

〔蒔田 秀治 豊橋技術科学大学〕



7.3. 乱流拡散と反応流れ

乱流拡散と反応流れの研究は多岐にわたり、すべての方向を解説することは困難である。ここでは、以下に示すように、最近注目されている三つのトピックスに絞って概観する。

7.3.1.

パッシブスカラ場の局所等方性と間欠性

パッシブスカラ場の現象論はKolmogorov, ObukhovとCorrsinによって議論され、現在KOC理論と呼ばれている⁽⁴⁴⁾。KOC理論の基本的な仮定は、大きいレイノルズ数 $Re = \langle u^2 \rangle^{1/2} l / \nu$ (u : 変動速度成分, l : 乱流の特性長さ, ν : 動粘性係数) とペクレ数 $Pe = (\nu/\kappa) Re$ (κ : 分子拡散係数) においては、小さいスケールでスカラ場は等方になる(局所等方性と呼ばれている)ということである。現在のパッシブスカラ場の研究の中心は、KOC理論では説明できない統計法則、すなわちKOC理論からのずれを明らかにしようとするものである。KOC理論からのずれは主に次の二つの観点から調べられている。一つは局所等方性からのずれ、すなわち非等方性(anisotropy)であり、もう一つは内部間欠性(internal intermittency)である。この非等方性と内部間欠性は実際には互いに密接に関係していることが知られている。いま、スカラ変動場を θ と表すことにすると、 θ の空間こう配に対する歪み度

$$S_{\theta\theta/\partial x} \equiv \langle (\partial\theta/\partial x)^3 \rangle / \langle (\partial\theta/\partial x)^2 \rangle^{3/2}$$

は局所等方性を満たすならば鏡映対称性からゼロでなければならない。しかしながら、平均スカラこう配が存在する場合、 $S_{\theta\theta/\partial x}$ がゼロにはならないことが多くの実験や計算で確かめられている。現在では、この現象が空間的にランダムに分布する流線の鞍点まわりの分離線(separatrix)が平均スカラこう配の方向と一致した場合に発生するスカラ場のいわゆるタラップ崖構造(ramp-cliff structure)が原因であることが知られており、このようなタラップ崖構造が内部間欠性を引き起こし、スカラ確率密度関数に指数的尾部(exponential tail)が発生する原因となると考えられている。さらに、このような小さなスケールの非等方性の定量的な評価に、三次のオーダーのスカラ構造関数 $\langle \Delta\theta(r)^3 \rangle$ に対する三次特殊直交群展開(SO(3)展開)が利用されている。Kurienら⁽⁴⁵⁾はSO(3)展開法により、 $\langle \Delta\theta(r)^3 \rangle$ は奇のパリティ、すなわち $\langle \Delta\theta(-r)^3 \rangle = -\langle \Delta\theta(r)^3 \rangle$ を持つために、本質的に非等方であり、Reが大きい極限でのス

カラ場の等方性への接近の指標になりえないことを示した。等方性への接近の指標を探ることが今後の重要な課題である。

7.3.2.

物質線や面の拡散

乱流中の物質線や物質面の研究は1952年のBatchelor⁽⁴⁶⁾の論文に始まり、この論文で提案されたいくつかの仮定が現在に至るまでこの方面の研究の基礎となっている。Batchelorの仮定の中で最も重要なものは、物質線(面)は、統計的に等価な流体線素(面素)の集合と見なせるというものである。最近KidaとGoto⁽⁴⁷⁾は一様等方性乱流の直接数値計算(DNS)により、物質線の真の伸長率が上記のBatchelorの仮定から計算された値より約30%大きな値を示すことを見いだした。GotoとKida⁽⁴⁸⁾は、この原因を物質線素の伸長過程が積過程(multiplicative process)であるという観点から考察した。今後は、物質線や面の統計的性質と乱流の小さなスケールの非一様性(いわゆる空間的間欠性)との関係を明らかにするような研究が望まれる。

7.3.3.

反応を伴う乱流拡散

乱流中の物質の反応機構の本質を理解するには、できるだけ単純な化学反応を利用することが望ましい。NagataとKomori⁽⁴⁹⁾は格子下流に発達する混合層において、発熱の伴わない二次の非可逆瞬間反応($CH_3COOH + NH_4OH \rightarrow CH_3COOH_4 + H_2O$)を利用して、主に不安定成層と平均せん断の化学反応への影響を実験的に調べた。その結果、不安定成層が平均せん断よりも乱流混合および化学反応の促進効果が大きいことを明らかにした。その他、単純な化学反応を扱った実験的研究として、久保ら⁽⁵⁰⁾により連続競争反応($A+B \rightarrow R, R+B \rightarrow S$)に関与する全成分の濃度測定技術の開発が行われた。反応性乱流の数値計算については、DNS⁽⁵¹⁾⁽⁵²⁾や確率密度関数法(PDF法)による計算⁽⁵³⁾が行われている。反応性乱流は環境問題と関連して、今後ますますの研究進展が期待される。

〔酒井 康彦 名古屋大学〕

7.4.

風力エネルギー

7.4.1.

風車周りの流れ

2001年当初、世界の風力発電設備は、2300万kWを越えた。ドイツの810万kW、スペイン320万kW、デンマーク240万kW、さらに復調著しいアメリカの420万kW、アジアでは、インド140万kW、中国36万kW、日本約30万kWが目覚ましい発展をとげている。このような風力発電設備増加の背景には、地球温暖化対策に対する国際世論の高まりがあるが、他方では、ここ20年間に培われた風力発電技術の技術革新が風力発電に対する信頼感を生みだしている結果である。

以下では、2001年度の世界の主な風力関連学会誌および世界最大のヨーロッパ風力エネルギー会議^{(54)~(60)}で取り扱っている研究の中のごく一部、風車周りの流れと風車専用翼関連論文のみを紹介したい。その他の数百を越える幅広い範囲の論文は文献(54)~(60)等に示された論文掲載誌をご覧いただきたい。風力発電技術は、総合エンジニアリングであり、広い工学分野にまたがっている。

水平軸風車周りの流れを境界要素法N-S方程式および渦法を用いて数値的に解析する研究⁽⁶¹⁾、乱れ成分を強く含む流れに対する風車挙動の数値解析⁽⁶²⁾⁽⁶³⁾、直径60m、90mおよび120mの大型水平軸風車周りの流れの数値解析⁽⁶⁴⁾、水平軸風車の翼のフラップ角、ピッチ角を変えた場合の風車周囲の流れ⁽⁶⁵⁾、水平軸風車の非定常空気力学特性の数値解析⁽⁶⁶⁾、乱れ成分の大きい大気境界層の低層で運転される風車の挙動とその対応策に関する実験的研究⁽⁶⁷⁾、風車翼と風車タワーの空気力学的干渉に関する研究⁽⁶⁸⁾。さらに、水平軸風車翼の空気力学的研究として、発電運転中の風車翼面の非定常圧力分布の測定^{(69)~(71)}、水平軸風車翼に使用される翼面上の層流-遷移-乱流の数値解析⁽⁷²⁾、翼面上の乱流はく離に関する数値解析⁽⁷³⁾、風車翼の循環量を制御して、翼に働く力を制御する研究⁽⁷⁴⁾、高迎角に対応できる翼型の開発⁽⁷⁵⁾、等がある。

[清水 幸丸 三重大学]

7.5.

流体機械

7.5.1.

送風機

2001年は例年に比し比較的多数の送風機が生産されたが、従来中心であった火力発電所用の大型送風機が減少し、下水曝気を中心とした小型で圧力が49kPa以上の送風機が多数生産された。

a. 遠心送風機 大型送風機では、火力発電所関係に、3260kW以下が計14台生産された。また産業用として、鉄鋼関係を中心に、12台が生産された。圧力が49kPa以上の送風機では、下水曝気を中心として、670kW以下が54台生産された。また硫酸プラント向けほかに3600kW以下が8台生産された(表1)。

b. 斜流送風機 曝気用を中心として、615kW以下が計5台生産された(表2)。

c. 軸流送風機 火力発電所用の大型送風機として、10200kW以下が計21台生産された(表3)。

[後藤 充成 三菱重工業(株)]

表1 遠心送風機(1000kW以上または49kPa以上, 98kPa以下)

納入先	用途	風量 m ³ /min	吐出圧力 kPa	回転数 rpm	駆動動力 kW	台数	製作会社
日本鋼管(株)	焼結・排ガスブースタ	22 540	5.9	880	2 850	2	荏原製作所
日本鋼管(株)	焼結・排ガスブースタ	30 190	4.3	710	2 850	1	荏原製作所
POHANG IRON & STEEL Co.,LTD	CDQ CIRCULATION FAN	5 874	13.4	1 185	2 140	1	荏原製作所
新日鐵	ボイラ FDF	20 200	4.9	710	2 450	1	濱田送風機
川崎重工業株	ボイラ1次押込送風機	1 740	42.7	1 780	1 780	1	濱田送風機
進和テック(株)	集じん機用	6 000	7.6	1 150	1 350	2	荏原製作所 ハマダ送風機
進和テック(株)	集じん機用	4 800	6.1	1 150	1 100	1	荏原製作所 ハマダ送風機
UAE(海外)	PREHEATOR FAN	10 530	7.3	985	2 000	1	濱田送風機
UAE(海外)	BAG HOUSE FAN	13 069	400	590	1 200	1	濱田送風機
UAE(海外)	SEPARATOR FAN	6 200	6.9	980	1 000	1	濱田送風機
沖縄電力(株)金武	IDF	1 000	12.8	1 180	2 750	4	三菱重工
中部電力(株)碧南	PAF	7 300	17.5	1 780	2 480	2	ツバキ・ナカシマ
東亜石油 川崎	IDF	11 040	13.1	985	3 260	2	ツバキ・ナカシマ
某社(発電所)	FDF	4 032	24	1 480	2 500	2	電業社
某社(ごみ処理場)	IDF	6 088	11.9	1 170	1 650	2	電業社
地方自治体	曝気	50~450	50~70	3 000~18 766	90~670	10	荏原製作所
某社	曝気	40~50	49~63.7	2 500~27 000	56~75	9	川崎重工
某社	プラント用	70~100	58.8~117.6	2 200~28 000	56~240	4	川崎重工
某社	下水処理曝気	50~213	54.9~56.8	3 000~23 000	90~280	3	三菱重工
下水道事業団	下水曝気	33~230	55.3~61.8	2 950~18 031	55~310	6	IHI
地方自治体	下水曝気	26~200	51.9~56.8	2 950~14 826	45~260	4	IHI
輸出	空気	183~783	63.7~70.6	2 970~2 975	320~1 000	7	電業社
輸出	リサイクルガス	70	80.4	2 970	170	1	電業社
地方自治体	曝気	183~350	55.9~71.4	2 970~3 570	55~470	17	電業社
某社	硫酸プラントブロワ	2 500	51.0	5 350	3 600	1	日立