

ここに X^* は流体粒子の位置, U^* はその瞬時速度であり, dW_i はランダム項である. この方法の利点は対流項が厳密に扱え, こう配形の拡散モデルの仮定が不要なことである. 鈴木ら⁽⁹⁾はこれを用いた 2 粒子モデルの計算を行い実験とよい一致を得ている. なお, この確率微分方程式は伊藤京都大学名誉教授が確立したもので, 理論発展に対する日本人数学者の寄与が著しい.

ラグランジュ的方法に対してオイラ的方法では乱流スカラ束の輸送方程式中に生ずる $\overline{u_i u_j C}$ といった多くの項のモデル化が重要な問題となる. 鹿園と笠木はこの点を論じ, スカラ圧力こう配相関, 散逸項に重点をおいて調べ, よい結果を与えている⁽¹⁰⁾. また, Kimura と Kraichnan はスカラ場が正規分布場の写像として近似されるという写像法を用いて, 非正規分布場の発展を研究している⁽¹¹⁾.

一見特殊のようでありながら基本的拡散問題にテイラ縦拡散がある. これは一方向の流れと横方向への分子拡散の組合わさった作用で流れ方向(縦方向)拡散が生ずる現象である. Camacho はこの考えと熱力学との関連を検討している⁽¹²⁾. Iosilevskii と Brenner は反応流れにこれを拡張し⁽¹³⁾, 藤岡らは気管支内流れに関連して管内間欠流についてテイラ縦拡散を調べている⁽¹⁴⁾. また, 凹凸チャンネルについてのこの研究がある⁽¹⁵⁾.

拡散問題は反応流の問題につながる. 基本的研究として Bilger の論文がある⁽¹⁶⁾. シミュレーションも活発である^{(17)~(19)}. 反応流の実験は困難であるが, 成分割合が測られ⁽²⁰⁾, 実験結果の解釈が検討されている⁽²¹⁾.

〔中村 育雄, 酒井康彦 名古屋大学〕

7・2・2 風工学 従来, 風工学といわれる研究分野は, 地上の建造物に及ぼす風の影響を明らかにすることを中心課題とし, 例えば橋りょう, 高層ビル, 煙突などに働く風の流体力, あるいは少し拡大して, 防雪柵や石炭ヤードの防塵対策における流体力学的検討等がこれに当たるものである. しかし最近, 地球にやさしいエネルギーとして登場した風力発電の普及に伴って, 風と地形, 風の乱れと風車の関係, 複数台の風車相互の流体力学的干渉等が実用的知識として求められるようになってきた. 本節ではこれに関する研究状況について述べる.

風力エネルギーを利用する上で風そのものの性質を明らかにすることが基本である. 風は大気中の空気塊のマクロな運動であり, 太陽からのエネルギー吸収度の差(温度差), 圧力差, 遠心力とコリオリ力の影

響を受ける. 地上を吹く風は境界層内の流れであり, 地上約 100 m 程度までは地表の粗さ, 地形の凹凸等によって支配され, 風力発電に関係する風速が大きい場合には乱流混合が促進されるため, 地表近くの温度分布の影響は少なく, 中立安定とみなすことができる.

風力をエネルギーとして利用する場合の障害の一つは風速が常に変動することであろう. 平均速度を U とすると, 利用できる風力エネルギーは ρU^3 に比例するので, わずかな風速変動も風車の出力には大きな変動を生じる. 風速の変動成分のスペクトルの解析によると, ほぼ 4 日と 1 分の二つの時間スケールをもつ変動が卓越しており, 時間スケールが 10 分から 1 時間の範囲の変動のスペクトルが最も小さい. 従って, 風力エネルギー評価のための風速測定には 20 分から 1 時間当たりの平均値をとるのが望ましい⁽²²⁾. しかし風車の羽根にかかる変動力を予測する場合は, 十分小さい時間スケールの変動値が要求される. さらに直径 100 m に達するメガワット級の大形風車を設置する際には羽根 1 回転当たりの変動を知るためにも風速の垂直分布が必要である.

風力発電設備を設置するためには風況状況の調査が不可欠である. 従来から地上 1 000~2 000 m またはそれ以上の気流については気象観測で, また地上 10 m までは農業気象に関連して多くの研究があるが, 風力エネルギーに関連する 0~200 m の高さにおける観測はあまりなされていない. 平地における速度の高度分布の一例として対数速度分布を改良し, 地上 300 m までに適用できる次式(log+linear law)がある.

$$U(z) = (u^*/k) [\ln(z/z_0) + \beta(z-z_0)/L]$$

ここで z_0 は表面粗さ⁽²³⁾, β は実測地より決められる値, L はモニン・オブコフの長さである.

風況調査では, 上式の代わりに, 風速計設置高さ H (普通, 10 m とする) の風速を基準値としてそれとの比で表すことが便利である. この場合, 次式の指数分布が経験的に用いられる.

$$U(z)/U(H) = (z/H)^\alpha$$

ここで α は地表の状態に依存する値であり, 50 m までは $\alpha=0.15$, 150 m までは $\alpha=0.17$ である. フィールド試験では, さらに大気の安定性, 風向等が影響し, いまだ十分なデータは少ない⁽²⁴⁾.

大気の乱れ強さについてのデータは少ないが, その性質は風洞実験で得られる擬定常流乱流境界層と同様な統計的整理が行われる. σ_u を乱れの標準偏差とすると, 相対乱れ $I_u (= \sigma_u/U)$ は地表近くで大きく, ほぼ $I_u(0) = 0.25 u^*$ である. 一方出力の比較的周期

の長い変動成分としてのガストを考慮する必要がある、これには次式の関係が使用されている。

$$g(t) = \{U_t(z) - U(z)\} / \sigma_u(z)$$

ここで、 $U(z)$ は時間平均速度、 $U_t(z)$ は t 秒間平均値から求めた最大ガスト速度である。測定データから $g(t)$ は場所、高度による依存はなく、時定数 t の関数で、次式のようになる⁽²⁵⁾。

$$g(t) = 0.42 \ln(3600/t)$$

風況予測に関してはヨーロッパでは従来平地を中心に行われ、それに関するシミュレーションソフトの開発も行われてきている⁽²⁶⁾。また簡単な二次元及び三次元丘陵を過ぎる流れの計算もなされてきた⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾。いずれの場合にも地面から等しい高さにおける速度は排除効果のために頂上付近で大きくなるが、丘陵のこう配が急であると流れは壁面からはく離するため、速度増大の予測は困難である。二次元丘陵では斜面のこう配が 1:3 以下の場合には一般にはく離は発生せず、地面からある高さ以上での速度の増分は境界層の影響が消えて、ポテンシャル流れから予測できる。また丘陵の半値幅の 1/10 以下の高さでは地表の粗さの影響が表れる。ベル形断面を有する丘陵の頂上での無次元速度増分は、次式で与えられている。

$$\Delta u(z) = \frac{\ln(L/z_0)}{\ln^2(z/z_0)} \ln(l/z_0)$$

ここで l は内層 (inner layer) の厚さである。

最近では、ヨーロッパ各国の山岳地帯や孤島等の複雑な地形を対象とする風力エネルギー評価に関する研究が EC 各国の共同によって盛んに行われている^{(29)~(35)}。我が国においても、気象庁 AMeDAS データ、NEDO 観測データ、道路公団保有のデータ等を、地形因子の考慮、風況特性の分析、風速予測モデルによる高さ補正等により、1 km メッシュによる計算等が行われ、日本列島の風況マップが開発された。その結果によると風力発電として採算制があると考えられている年間平均風速 5 m/s 以上の地域は北海道で 16.1%、東北・関東地域で 28.2%、中部・近畿・四国・中国地域で 28.4%、九州・沖縄地域で 70.7% となり、日本列島の広大な地域が風力発電に適していることが示された⁽³⁶⁾。しかし、この風況マップだけでは風力発電の立地は行えない。個々の地域のミクロの地形及び年間を通した風の流れの調査によってそこでの発電予測が立てられている⁽³⁷⁾⁽³⁸⁾。しかしこの分野における我が国独自の研究は風力エネルギー利用の先進国と比べて立ち後れている。数値流体力学の応用が風況調査の簡略化と高精度な風況マップの作成に役立つものと期待される。

〔菊山 功嗣, 長谷川 豊 名古屋大学〕
〔清水 幸丸 三重大学〕

7.3 空 気 機 械

7.3.1 容積形圧縮機 1993 年度中 (1~12 月) に生産された容積形圧縮機の代表的なものを表 1 に示す。景気の低迷による落ち込みと、輸出向け大形プラントの不調から圧縮機を生産も減少したが、石油精製向けの軽油深度脱硫装置用圧縮機の需要が増加している。これは、1997 年度から軽油に含まれる硫黄分を 0.05 質量% 以下まで規制が強化されるため、各社が軽油深度脱硫装置の建設に着手し始めたことによる。石油関連の高圧の用途に対し、油冷回転ねじ式圧縮機の検討がされ始めている。開発課題は、炭化水素系ガスに対する潤滑油と高圧力に対するロータ強度である。

小形の無給油回転ねじ式圧縮機は、火力発電所向けや公共関連のごみ処理装置用等に堅調であった。火力発電所向けにおいては、一般産業向けの圧縮機が往復動式から回転ねじ式に切替っていることから、電力各社とも検討し始めている。これは、往復動式に対し回転ねじ式が振動、騒音が小さく、保守点検期間が長いメリットが理解されてきたもので、各社とも保守周期を延ばす努力をしており、主要部の点検周期が 5 万時間ごとという無給油回転ねじ式圧縮機もできた。

冷凍空調分野では、フロン規制が加速し、CFC 全廃決定に続いて、1992 年には、コペンハーゲン会議で HCFC 冷媒も規制の対象となった。このため、1993 年には HFC (オゾン破壊係数ゼロ) 冷媒を使用した製品の開発が進み、小形では、スクロール式、大形では回転ねじ式が実用化され始めた。冷凍空調用の開発課題は HFC 冷媒に適した合成油の開発と、HFC 冷媒雰囲気下での軸受の潤滑性向上である。

〔沖田 純二 (株)日立製作所〕

7.3.2 ターボ圧縮機 1993 年には 1000 kW 以上の遠心圧縮機が 90 台、軸流圧縮機が 2 台製作された。いずれも前年に比べ大きく落ち込んでいる。急激な円高の進行と国内の不況によると推察される。この環境下で空気分離装置が比較的堅調である (表 2)。

〔辻 和夫 (株)荏原製作所〕

7.3.3 送風機 1993 年は全般的には例年よりも多くの台数が生産されたが、火力発電所用の大形送風機は減少傾向にあった。

a. 遠心送風機 火力発電所関係では、排気再燃コンバインドサイクル用の大形送風機を含め 5900