UDC 532.517.4：681.3：65.012.122

# 乱流の数値シミュレーション

## 1．概　　要

NST（乱流の数値シミュレーション）研究グループは，理工学に係る乱流現象の解明とその制御を，最新のComputational Engineeringを適用し，これを発展させて行う．

## 2．研究の背景

乱流現象は，関連する理工学分野の幅広さ，現象解明や関連する技術開発成果の波及効果の大きさから，理工学における最重要の基礎的研究課題の一つである．図-1．しかし乱流現象の解明は，支配方程式の非線形性によりその理論的，解析的取り扱いは極めて困難である．また実験的検討は，これが可能な場合でも莫大な労力を必要とするほか，そもそも実験実施が困難な場合も少なくない．このような理工学における乱流研究のBreakthroughを図るには，大規模な計算機システムを利用したComputational Engineeringの活用が不可避である．

大規模計算機システムの進歩には目を見張るものがある．理工学分野では，このすう勢に従い，数値計算および数値データー処理技術が担う役割がきわめて大きくなり，新たな学問領域Computational Engineering（数値予測工学）が誕生した．

Computational Engineeringにおいては，大規模計算機を用いて従来，理論的研究や実験的研究では解析が困難であったさまざまな物理現象が数値シミュレーションにより詳細に解析される．乱れた流れ（乱流）の解析は，計算機負荷の大きさ，技術開発の波及効果の大きさからComputational Engineeringの最右翼をなす．

生産技術研究所のNST研究グループ（Numerical Simulation of Turbulent Flow）は，この乱流の数値シミュレーションの開発，Computational Engineeringの展開を目的とし，所内の異なる分野の研究者が共同して研究開発を行っている．

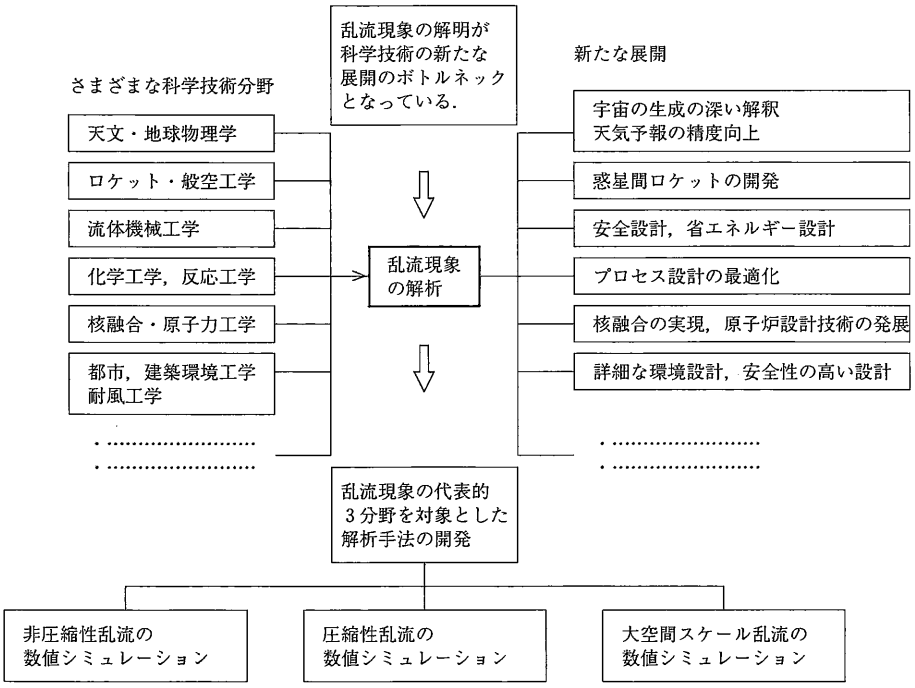


図-1　科学技術開発の鍵を握る乱流現象の解明

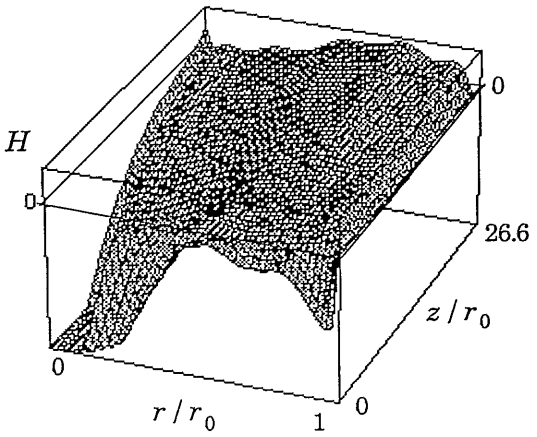


図-2　乱流ヘリシティを組み入れた3方程式（k-ε-H）乱流モデル
軸（Z）方向に減衰する円管（半径 $r_0$）旋回乱流中の乱流ヘリシティ H（＝＜u'・ω'＞；u', ω' は速度，渦度変動）分布.

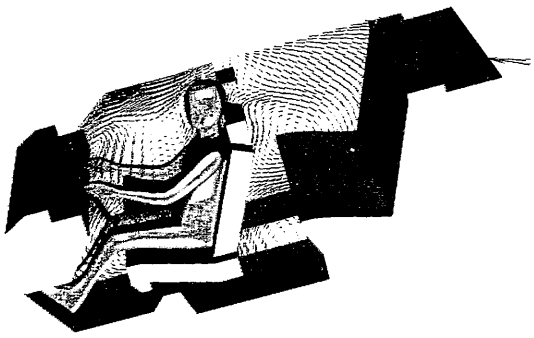

図-3　自動車車室内の熱流動予測
運転者が存在するときの車室内の暖気・冷気の3次元流動状態を k-ε 乱流モデルを用いて計算した．運転者の中央断面内の速度ベクトルを表示.

## 3．乱流の数値シミュレーションの問題

乱流は，基礎方程式の強い非線形性ゆえにこれを決定論的に解析することが現状でもほとんど不可能である．しかし数値シミュレーションの実行能力が飛躍的に増大した現在，乱流統計理論の精力的展開と相まって，こうした乱流現象を乱流の統計理論を基礎とする数値シミュレーションにより解析する手法が確かな潮流となってきている．

乱流の解析に関し，数値シミュレーション手法は大変普遍性の高い技術，手法となっている．しかしながら，乱流の数値シミュレーションは現状では不完全な技術であり，その内容を詳細に検討すれば物理的，数学的に数多くの問題点を含んでおり，常に必要な精度を勘案した実験結果と照合させながら，進めることが必須の条件となっている．したがってその研究開発も，乱流統計理論の理論的追及，数値シミュレーション手法の数学的探求のほかに，乱流現象に対する深い洞察と実験技術などの幅広い能力と研究組織が必要とされる．生産技術研究所は，単一組織内に工学における広範な分野を包含しており，上記の研究を推進するのにきわめて適している．

## 4．研　究　組　織

NST 研究グループは，1980年から実質的な共同研究活動を始めている．現在は，計測技術開発センター村上周三教授，第2部小林敏雄教授，第1部吉澤徴教授らを中心とし，第1部　故・竹光信正助教授，堀内潔助手，第2部谷口伸行助教授，大島まり助手，第5部加藤信介助教授，持田灯助手ほか，吉澤研究室，小林・谷口研究室，村上・加藤研究室など，数理流体力学，流動予測工学，建築・都市環境工学などの異なる分野の研究メンバー（大学院生や民間等共同研究員等で総勢30名程度）が参加している．共同研究は，定期的に開かれる研究会を中心に運営されている．

なお，1986年から1992年まで継続して富士通株式会社との共同研究「Computational Engineering」の開発研究により，スーパーコンピューター FACOM VP100の提供を受け，研究の飛躍的進展が図られた．

## 5．研　究　交　流

NST 研究グループの研究成果の主要なものは，1984年度より毎年，生産研究の特集号に詳しく紹介されている．また，NST 研究グループは，広く国内外の研究者と研究交流活動を行っている．国内的には，乱流シミュレーション研究者を広く集めて，乱流シミュレーションに関する生研 NST シンポジウムを1985年より毎年開催している．これは異なる専門分野の研究者が乱流シミュレーション研究を核にして集まるという意味では国内唯一のものとなっている．また海外の著名な乱流シミュレーション研究者を招いて，公開で催しているセミナーも1991年度までで通算20回余り開催している．

## 6．研究成果の概要

### 6.1　吉澤研究室

・統計理論的モデリングの研究
・LES（Large Eddy Simulation）の溝乱流への適用と乱流モデルの検証および改良
・k-ε モデルへの乱流構造の組み込み（図-2参照）
・高速乱流中の乱流／衝撃波干渉のモデリング
・核融合および天体プラズマ現象における乱流磁気ダイナモの研究

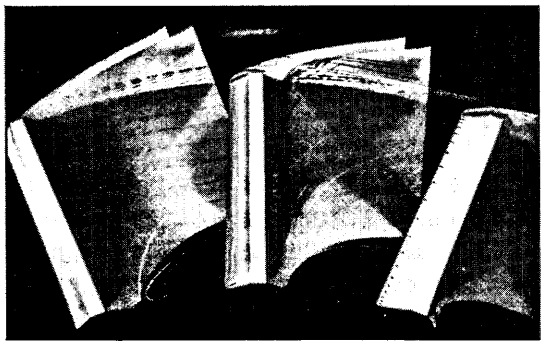

図-4　トルクコンバータ内の流動解析
トルクコンバータは流体関連機器の中でも複雑な流路形状をもっている．図はトルクコンバータステータの翼間流れをk-εモデルで解析したものである．

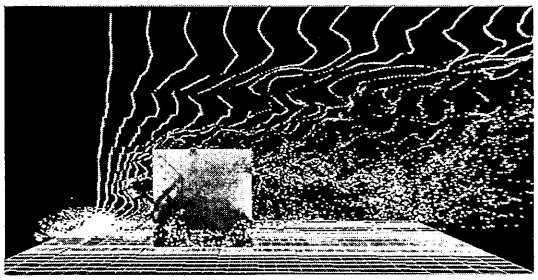

図-5　都市における気流シミュレーション
LESによる建物周辺気流の3次元シミュレーションをコンピューターグラフィックスで表示する．これはもともとは動画（アニメーション）であり，これを見ると建物コーナー部で発生する剝離流や，建物前方で一度風上側に逆流する流れが観察される．

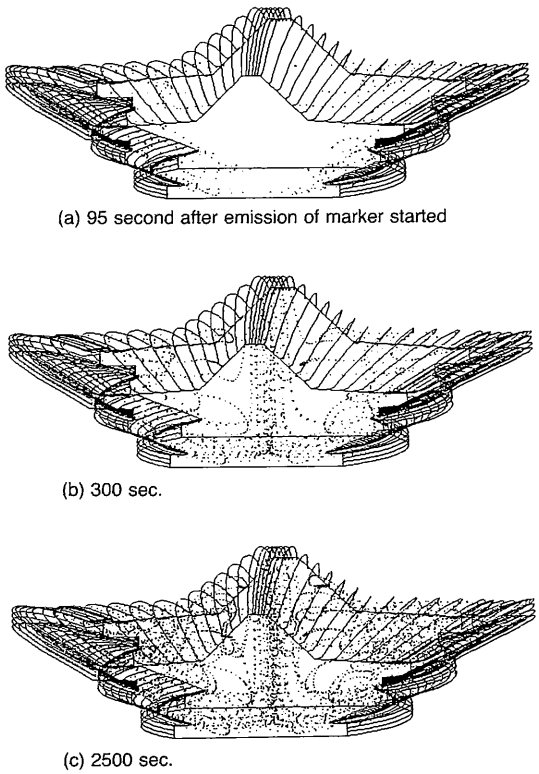


図-6　大空間の温熱環境シミュレーション
大空間は，その大きさゆえに，室内に温度分布・気流分布を生じやすい．そこで効果的な空調計画を行うには，室内の気流・温度分布の詳細な予測が重要となる．k-εモデルによる大規模屋内体育館の3次元シミュレーション例を示す．一般曲線座標を用いることにより，このような複雑な形状の空間も詳細な解析が可能となる．

### 6.2　小林・谷口研究室

- LESによる旋回乱流の数値予測に関する研究・剝離を伴う乱流場のモデリングに関する研究
- LESの実用化に関する研究・自動車における乱流場の数値予測に関する研究（図-3参照）
- LESによる空力音の予測
- LESによるBack step流れの解析
- ASM（Algebraic Stress Model），DSM（Differential Stress Model）によるBack step流れの解析
- 流体振動型流量計の開発におけるCFDの利用に関する研究
- 油圧・空気圧制御におけるCFDの利用に関する研究
- 非構造格子，一般曲線座標系による数値解法（図-4参照）

### 6.3　村上・加藤研究室

- k-εモデルの建物周辺気流および室内気流への適用と精度の検討
- LESによる建物周辺気流および室内気流の解析（図-5参照）
- ASM（Algebraic Stress Model）DSM（Differential Stress Model）による建物周辺気流，室内気流の解析
- 建物周辺や室内のガス拡散の数値解析
- 一般曲線座標による3次元乱流場の数値解析手法の開発（図-6参照）
- 低Re数型k-εモデルによる対流熱伝達の解析
- 圧縮性高浮力乱流による建物内煙流動の解析
- 室内の換気効率の数値シミュレーション
- 室内の対流・放射連成シミュレーションによる熱・空気流動の総合シミュレーション
- 超並列計算機による乱流シミュレーション