

◆ 数値乱流工学の開発 ◆

1. 緒言

高速、大容量の計算機ハードウェアの進歩には近年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処理技術が担う役割が極めて大きくなり、独立した新たな学問領域“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(スーパーコンピュータ)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を数値シミュレーションにより詳細に解析する。このようなComputational Engineeringの展開を背景とし、今後の科学技術開発戦略において、関連する理工学現象の幅広さと技術開発が成功した場合の波及効果の大きさを考慮したとき、最重要となるものの一つが乱れた流れ(乱流)の解析である。生産技術研究所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。

2. 乱流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た。

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、その内容を子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極めて適している。

3. 研究組織

NST研究グループは、昭和55年度から実質的な共同研究活動を始めている。現在、計測技術開発センター村上周三教授、2部小林敏雄教授、1部吉澤徹教授らを中心とし、1部竹光信正客員助教授、堀内潔助手、5部加藤信介助教授、持田灯助手ほか、村上・加藤研究室、小林、吉澤各研究室らの建築都市環境工学、流動予測工学、数理流体力学等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、定期的にかかれる研究会を中心に運営されている。なお昭和61年度から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、生産技術研究所にスーパーコンピュータVP100の提供を受け、研究の飛躍的進展が図られている。

4. 研究交流

NST研究グループの研究成果の主要なものは、昭和59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シンポジウムを昭和60年度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昭和63年度中で通算13回目となっている。

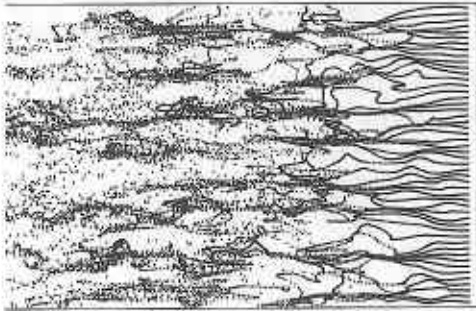
5. 研究成果の概要

5.1 吉澤・竹光研究室

- ・統計理論的モデリングの研究
- ・LES (Large Eddy Simulation) の溝乱流, 混合層への適用と乱流モデルの検証 (図 1 参照)
- ・ $k-\epsilon$ モデリングの非等方化, 一般化および温度・低磁気レイノルズ数効果の組み込み
- ・プラズマ乱流の MHD モデリングと核融合プラズマ乱流現象, 天体磁気ダイナモの研究

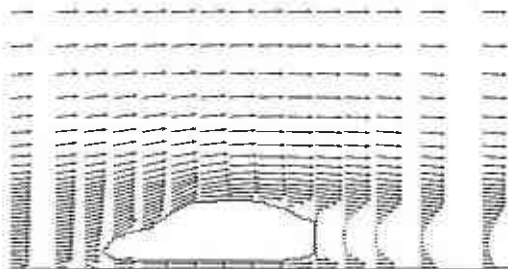
5.2 小林研究室

- ・LES による旋回乱流の数値予測に関する研究
- ・剥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
- ・自動車回り乱流場の数値予測に関する研究 (図 2



平行平板間の乱流場を, Large Eddy Simulation を用いて計算している。壁のごく近くに, 実験でよく知られているストリークと呼ばれる秩序構造が数値シミュレーションにより再現されている。

図 1 LES による並行平板間の乱流場の予測 (吉澤研)



2次元自動車まわりの流れを $k-\epsilon$ モデルを用いて計算している。本計算では風洞内の自動車を想定し, 入口は一様流入, 地面壁は固定, レイノルズ数は 2.2×10^6 (100km/h 相当) としている。図は平均風速ベクトルを示しているが, 車体の後部に逆流域が存在することがわかる。

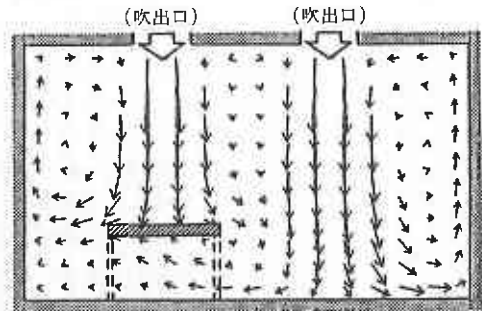
図 2 $k-\epsilon$ モデルによる 2次元自動車まわりの流れ場の予測 (小林研)

参照)

- ・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

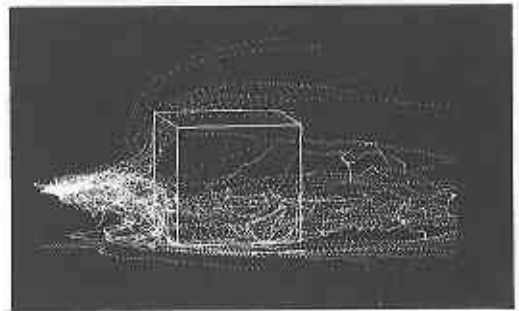
5.3 村上・加藤研究室

- ・ $k-\epsilon$ 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 (図 3 参照)
- ・LES による建物周辺気流の解析 (図 4 参照)
- ・ASM (Algebraic Stress Model) による室内気流の解析
- ・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



$k-\epsilon$ モデルによる気流障害物がある場合のクリーンルーム内の気流性状を示している。吹出噴流が机に衝突して横向きに発散する様相, 机右端で衝突流が巻き込まれる様相等を数値シミュレーションはよく再現している。

図 3 $k-\epsilon$ モデルによるクリーンルーム内気流の予測 (村上・加藤研)



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グラフィックスで表示する。建物前方よりマーカーを発生させた場合の流跡線図を示している。建物前方一度風上側に逆流する流れが観察される。

図 4 LES による建物まわりの流れ場の予測とコンピュータグラフィックスによる流跡線図の表示 (村上・加藤研)