

# RCSジェットと希薄気流干渉の モンテカルロ直接シミュレーション

古浦勝久\*<sup>1</sup>、高平幹成\*<sup>2</sup>、石川直恒\*<sup>2</sup>

Monte Carlo Direct Simulation of Jet/Rarefied Corner Flow Interaction

by

Katsuhisa KOURA\*<sup>1</sup>, Mikinari TAKAHIRA\*<sup>2</sup>, and Naotsune ISHIKAWA\*<sup>2</sup>

## ABSTRACT

The Monte Carlo direct simulation of the interaction of a reaction control system (RCS) nitrogen jet with a hypersonic rarefied nitrogen flow in the corner region of two perpendicular flat plates is performed using the improved null-collision (INC) technique. The molecular model is taken as the variable soft sphere (VSS) model for elastic collisions and the statistical inelastic cross section (SICS) model for rotationally inelastic collisions. The plate surface pressure is compared with the experimental results provided by the European Space Agency (ESA).

### 1. はじめに

大気圏再突入飛行体の希薄大気飛行時における姿勢制御用(RCS)ジェットと極超音速希薄気流との干渉による物体表面圧の変動を調べるためのモデル実験が行われ、2枚の直交平板表面圧の測定データがESAから提供された。<sup>(1)</sup> 本研究では、モデル実験に対応した窒素分子ジェットと極超音速窒素分子希薄気流との干渉のモンテカルロ直接シミュレーションを行い、表面圧実験データと比較する。直接シミュレーションモンテカルロ(DSMC)法は、擬衝突(NC)法を実在気体シミュレーションのために改良した改良型擬衝突(INC)法<sup>(2)</sup><sup>(3)</sup>を用いる。

### 2. 計算モデル

実験に用いられた2枚の直交平板(40mm×120mm, 60mm×120mm)とRCSジェット(出口径1.53mm)及び34個の表面圧測定穴(出口径1mm)の位置をFig. 1に示す。A, B, C, D, AH, E, F, G, AVは表面圧測定線を表す。実験に対応して、一様流はよどみ点圧3.5bars及びよどみ点温度1100Kの等エントロピー流のマッハ数20.2における流れとし、RCSジェットはよどみ点圧4bars及びよどみ点温度300Kの

\*<sup>1</sup>航空宇宙技術研究所 \*<sup>2</sup>大興電子通信株式会社

等エントロピー流の出口マッハ数5.96及び半頂角9°のソースフローで近似する。2枚の直交平板表面は圧力測定穴を無視した壁温300KのMaxwell反射モデルを適用し、弾性及び回転非弾性衝突に対する適応係数は等しいと仮定する。2枚の直交平板に対応した直方体計算領域を巨視的物理量の計算のための小さな直方体データセルに分割する。分子衝突シミュレーションのための衝突セルは、Fig. 2に示すようにデータセルを分子数適合分割法により自動的に分割生成する。弾性衝突モデルは可変性軟球(VSS)分子モデル<sup>(4)</sup>とし、回転非弾性衝突モデルはParkerの回転エネルギー利得関数をVSS衝突モデルに一般化した<sup>(5)</sup>統計的非弾性断面積(SICS)分子モデル<sup>(6)</sup>を用いる。

### 3. 実験結果との比較

#### 3.1. ジェット吹出無

RCSジェットの吹き出しが無い場合における測定線上の表面圧の比較をFigs. 3-11に、表面圧の等高線分布をFig. 12に示す。完全拡散反射壁(適応係数値 1.0)の場合、表面圧は実験結果より幾分高いので、適応係数値0.8に対する結果と比較してあるが、全般的によい一致が見られる。しかし、工学的表面は完全拡散反射壁であり、運動

量変化から求めた表面圧は圧力穴内の測定値より高い可能性もあるので、さらに検討を要する。

### 3.2. ジェット吹出有

RCSジェットとの干渉による表面圧の比較を Figs. 13-21に、表面圧の等高線分布をFig. 22に示す。適応係数値は0.8を仮定した。よい一致が見られる部分もあるが、計算値が測定値より高い部分や低い部分が全般的に混在しているので、不一致の原因を詳細に調べる必要がある。分子衝突モデルのパラメータ値、分子衝突セルの大きさ、分子衝突セル当たりの分子数の影響等を検討したが、これらは不一致の原因ではないことが確認された。また、RCSジェットのよどみ点圧が約半分程度の場合に実験値とよい一致が見られるので、RCSジェットのノズルや配管における圧力損失を推算したが、不一致を説明できる程度の損失はない。<sup>(7)</sup> RCSジェットの計算モデルが不十分である可能性が高いが、さらに研究を進める必要がある。

#### 参考文献

- (1) J. Allegre and M. Raffin, SESSIA Report 1759/92.1133 (1992).
- (2) K. Koura, Phys. Fluids, 6, 3473 (1994)
- (3) K. Koura, Computers and Mathematics with Applications: Simulation Methods in Kinetic Theory (in press).
- (4) K. Koura et al., Phys. Fluids A3, 2459 (1991); Phys. Fluids A4, 1083 (1992); Prog. Astronaut. Aeronaut. 159, 459 (1994).
- (5) K. Koura, Phys. Fluids 8, 1336 (1996).
- (6) K. Koura, Phys. Fluids A4, 1782 (1992); Phys. Fluids A5, 778 (1993).
- (7) T. Shimada, private communication (1996).

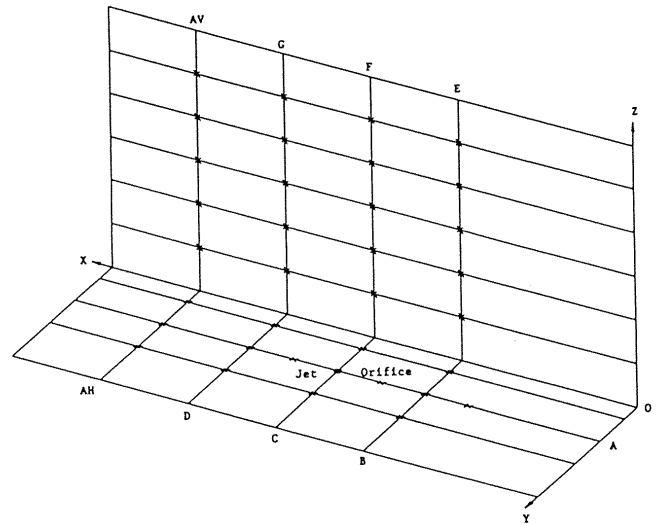


Fig.1 RCS jet and pressure orifice locations on two perpendicular flat plates

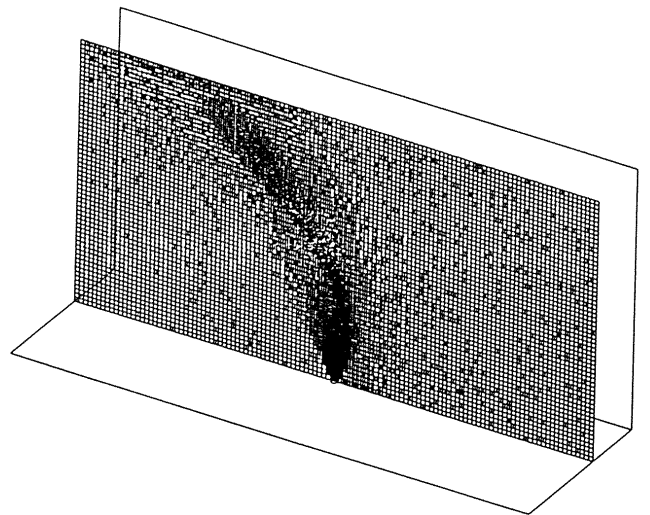


Fig.2 Adaptive Collision Cells.

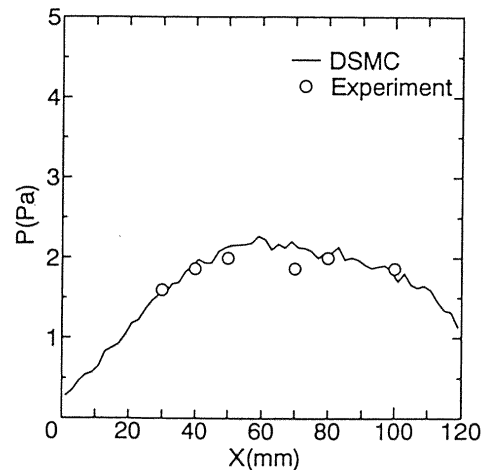


Fig.3 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section A (no jet firing)

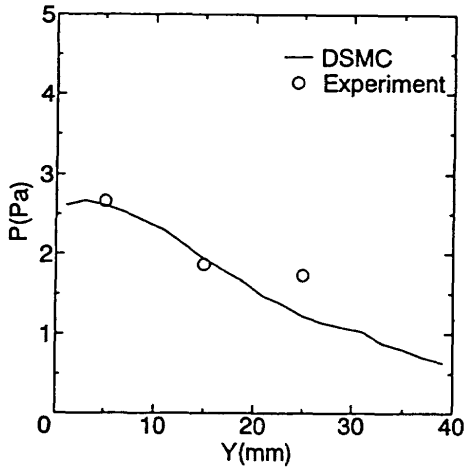


Fig. 4 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section B (no jet firing)

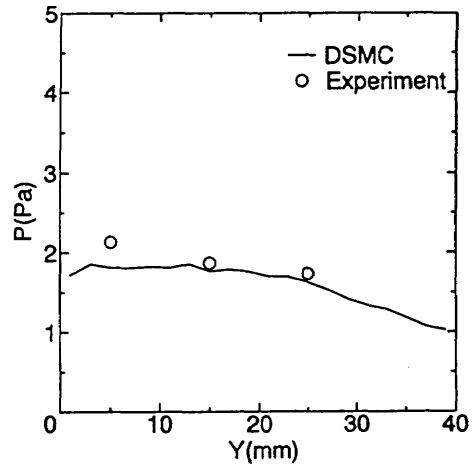


Fig. 7 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section AH (no jet firing)

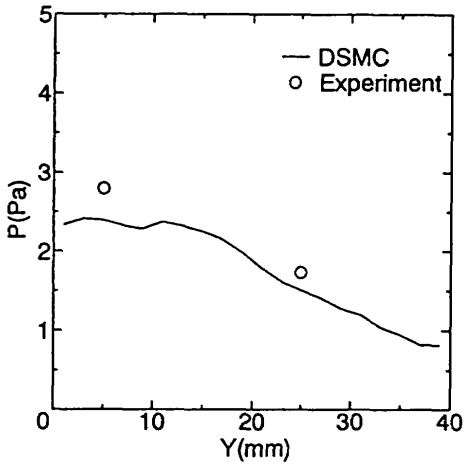


Fig. 5 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section C (no jet firing)

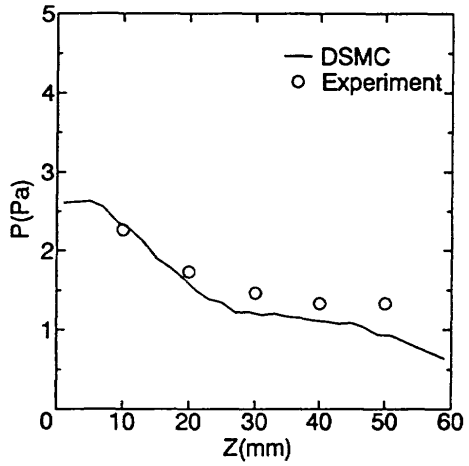


Fig. 8 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section E (no jet firing)

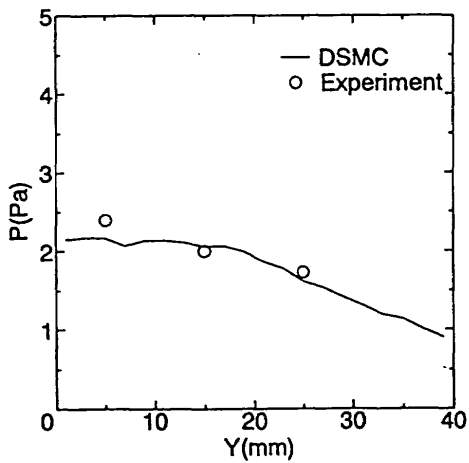


Fig. 6 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section D (no jet firing)

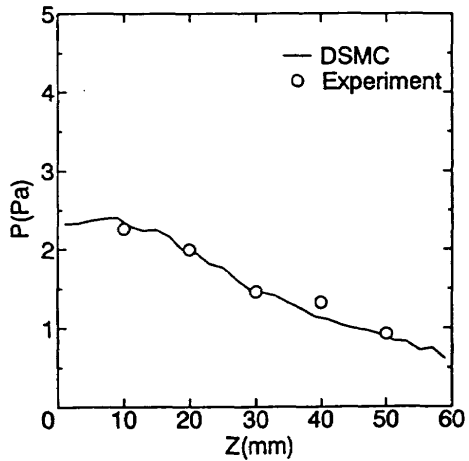


Fig. 9 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section F (no jet firing)

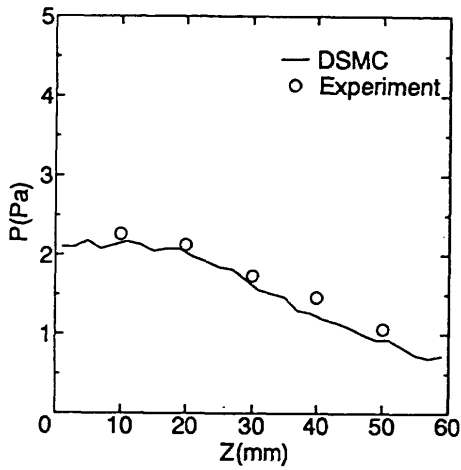


Fig. 10 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section G (no jet firing)

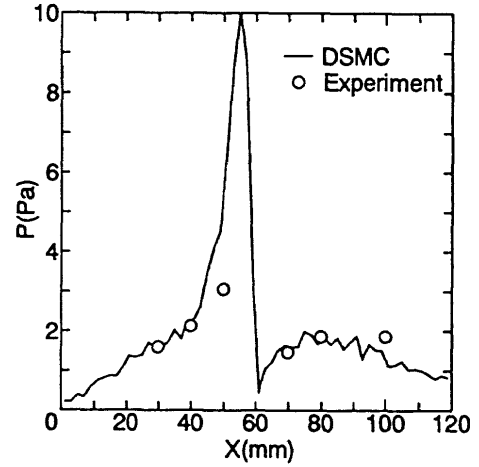


Fig. 13 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section A

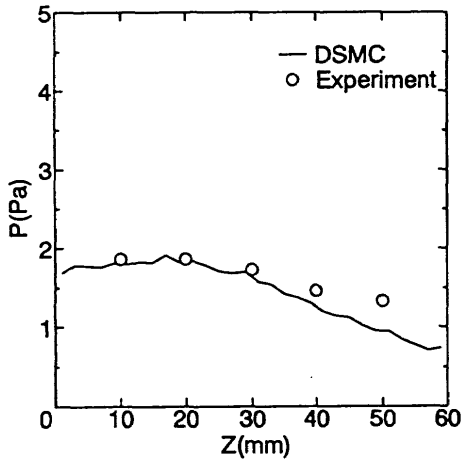


Fig. 11 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section AV (no jet firing)

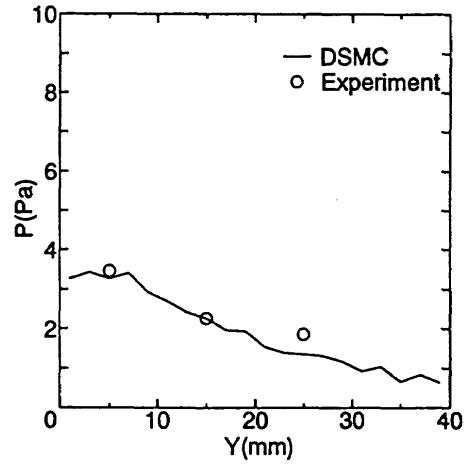


Fig. 14 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section B

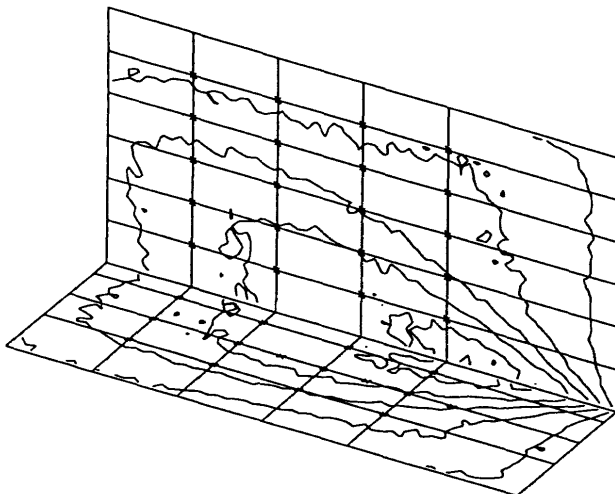


Fig. 12 DSMC surface pressure contour (no jet firing)

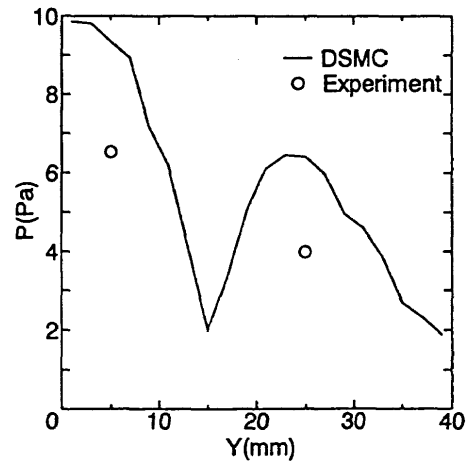


Fig. 15 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section C

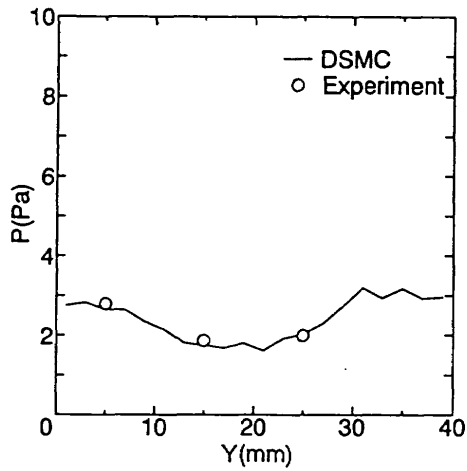


Fig. 16 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section D

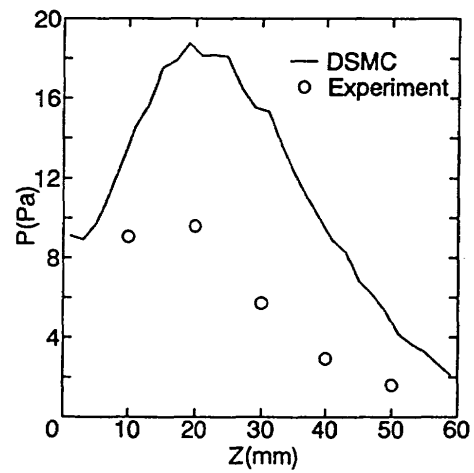


Fig. 19 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section F

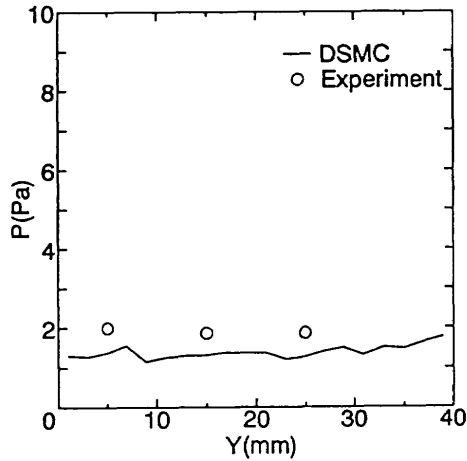


Fig. 17 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section AH

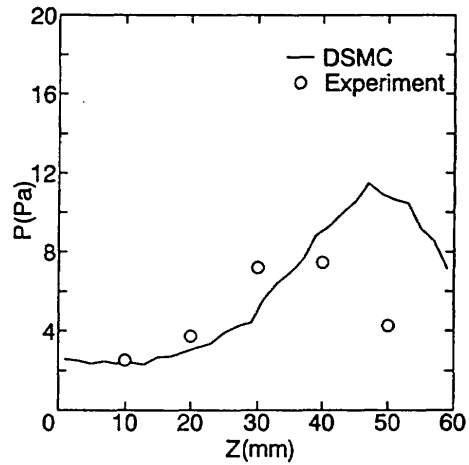


Fig. 20 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section G

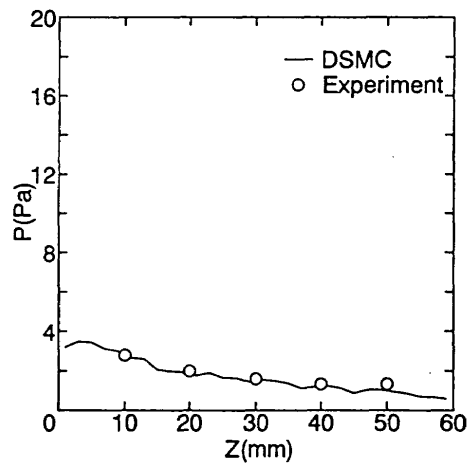


Fig. 18 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section E

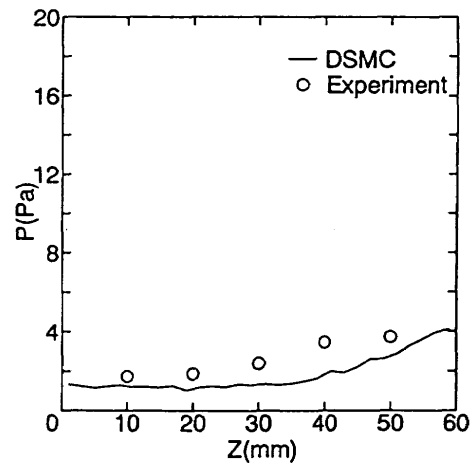


Fig. 21 Comparison of DSMC and experimental surface pressures on section AV

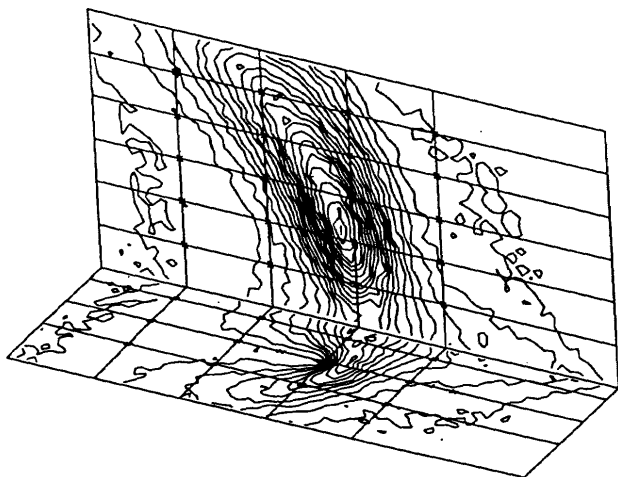


Fig. 22 DSMC surface pressure contour