

希薄気体数値風洞 VIII. HOPE  
古浦勝久\* 高平幹成\*\* 松本裕昭\*

Rarefied Gas Numerical Wind Tunnel VIII. HOPE

by

Katsuhisa KOURA, Mikinari TAKAHIRA, and Hiroaki Matsumoto

Aerodynamics Division, National Aerospace Laboratory

ABSTRACT

The "rarefied gas numerical wind tunnel (RGNWT)" developed for the simulation of rarefied gas flows around three dimensional whole flight bodies is applied to the H-II orbiting plane (HOPE). Some flowfield properties and aerodynamic characteristics are presented.

1. 希薄気体数値風洞

高層大気飛行物体の希薄大気飛行時における空力特性を求めるための「希薄気体数値風洞」の開発研究を進めている<sup>1)</sup>。シミュレーション手法は擬衝突直接シミュレーション・モンテカルロ法(NC-DSMC)<sup>2)</sup>を用い、計算領域、分子衝突セル、及びデータセルは直方体形状を汎用的に用いる。物体表面は三角形パネルに分割する。

現在、実在気体を良い精度で近似する計算効率の高い実在気体分子モデルの開発が重要な研究課題となっている。我々は、弾性衝突モデルとして任意の分子間ポテンシャルに対する粘性及び拡散係数と一致する可変性軟球(VSS)モデルを提案し<sup>3)</sup>、また、非弾性衝突モデルとして、離散的内部エネルギーを持つ分子に対する統計的非弾性衝突断面積(SICS)モデルを提案し<sup>4)</sup>、その有効性を確認した。これらの新しく開発された分子モデルは順次「希薄気体数値風洞」に取り込んで行く予定である。

以下に、窒素(空気)分子に対するVSS分子モデル<sup>5)</sup>を用いた「希薄気体数値風洞」によって求められたHOPE回りの三次元希薄気流シミュレーション結果の一部を報告する。

2. HOPE

図1にHOPEの全長 $L$ 、頭部半径 $r_n$ 、内主翼前縁

半径 $r_w$ 、または翼端尾翼前縁半径 $r_r$ に対する一様流クヌーセン数 $Kn_\infty$ の高度 $[h(Km)]$ 変化を示す。翼端尾翼前縁半径 $r_r$ に対する $Kn_\infty$ は高度50Km付近で0.01程度であり、衝撃波干渉加熱が問題となる翼端尾翼前縁付近での希薄効果に注意を要する。

物体表面を三角形パネルに分割したHOPE(図2)を「希薄気体数値風洞」に迎角 $40^\circ$ でセットした様子を図3に示す。

HOPE全長 $L$ に対するクヌーセン数 $Kn_\infty=1$ の希薄大気に速度比 $S_\infty=25$ 、迎角 $40^\circ$ で再突入する冷温拡散壁を有するHOPE回りの分子分布を図4に、密度、温度、圧力分布を各々図5-7に示す。HOPE腹面近傍において一様流密度の約40倍の高密度部及びHOPE腹面前方において一様流温度の約100倍に達する高温部が見られる。

HOPE腹面上の熱伝達分布を図8に示す。殿み点近傍での高熱伝達部が見られる。

HOPEの抵抗係数 $C_D$ 、揚力係数 $C_L$ 、及び揚抗比 $C_L/C_D$ を図9-11に示す。なお、「希薄気体数値風洞」によって求められた自由分子流( $Kn_\infty=\infty$ )値と理論値の迎角 $\alpha$ への依存性の比較、及び航空宇宙技術研究所の「極超音速風洞」で測定された連続流での実験値( $M_\infty=7$ )を参考のために示してある。自由分子流でのシミュレーション値と理論値の一致は良好である。また、 $Kn_\infty=1$ でのシミュレーション値は連続流の測定値に近付く傾向を示している。

\* 航空宇宙技術研究所

\*\*大興電子通信株式会社

謝辞

「希薄気体数値風洞」によるHOPEシミュレーションはNAL/NASDA共同研究の一環として行われたものである。また、シミュレーション結果の一部は航空宇宙技術研究所数理解析部制作によるアニメーション「Monte Carlo Simulation of HOPE」に収録されており、アニメーションの作成を担当された藤野敦志氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) K. Koura et al., NAL SP-3,17(1984); SP-7,159(1986); SP-8,103(1987); SP-9,183(1988); SP-10,221(1989); SP-14,49(1990); SP-16,37(1991).
- 2) K. Koura, Phys. Fluids 29, 3509 (1986); AIAA Prog. Astronaut. Aeronaut. 117, 25 (1989); Phys. Fluids A2, 1287 (1990).
- 3) K. Koura and H. Matsumoto, Phys. Fluids A3, 2459 (1991).
- 4) K. Koura, Phys. Fluids A4, 1782 (1992).
- 5) K. Koura and H. Matsumoto, Phys. Fluids A4, 1083 (1992).

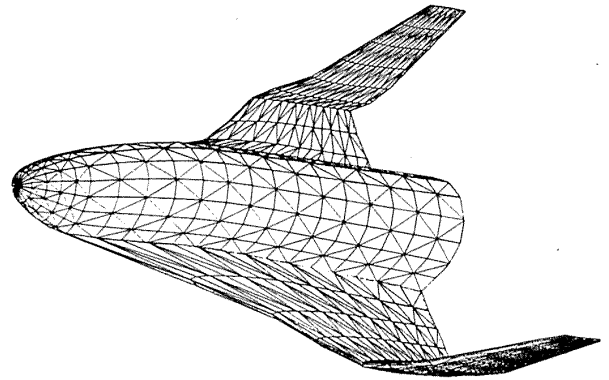


Fig.2 HOPE surface triangular pannels.

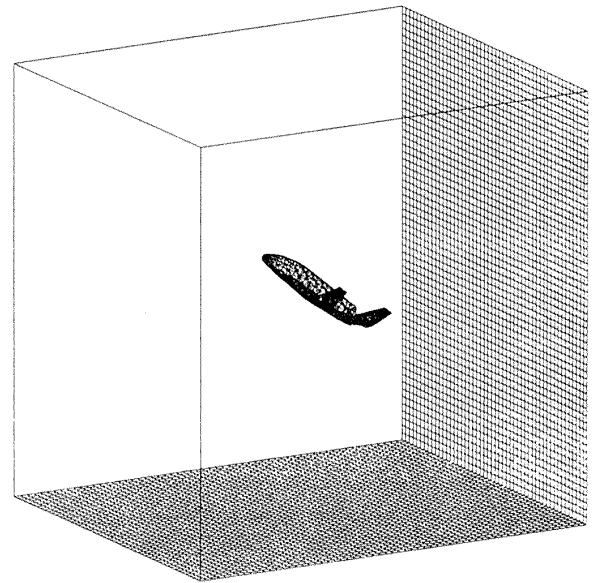


Fig.3 HOPE settled in the RGNWT.

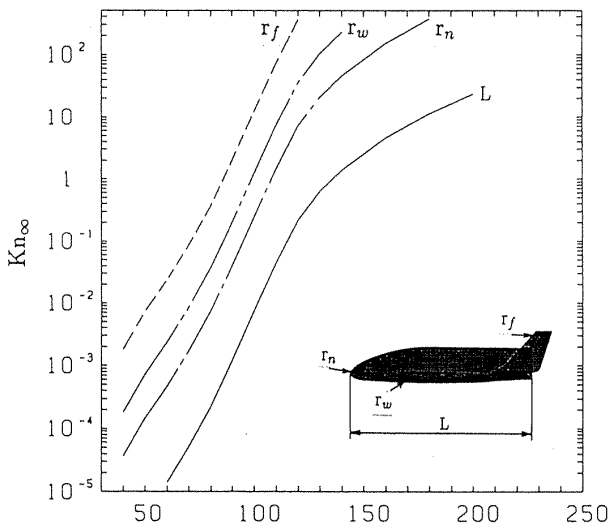


Fig.1 Altitude variation of Knudsen number based on the body length L, nose radius  $r_n$ , root-wingleading-edge radius  $r_w$ , or tip-fin leading-edge radius  $r_f$ .

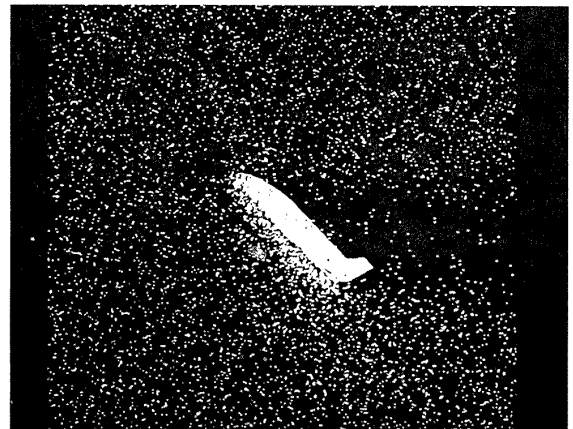


Fig.4 Molecular distribution around the HOPE.

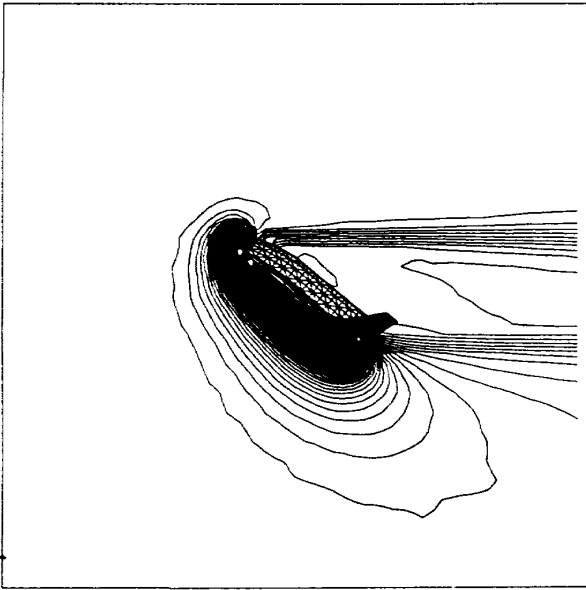


Fig.5 Number density contour in the plane of symmetry of the HOPE.

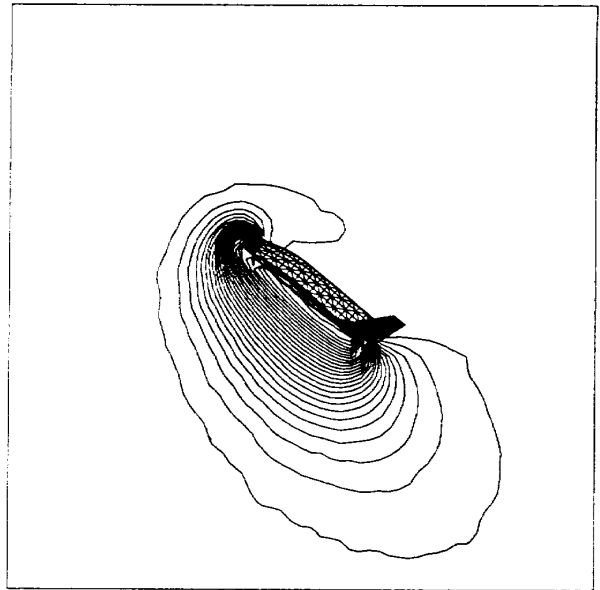


Fig.7 Pressure contour in the plane of symmetry of the HOPE.

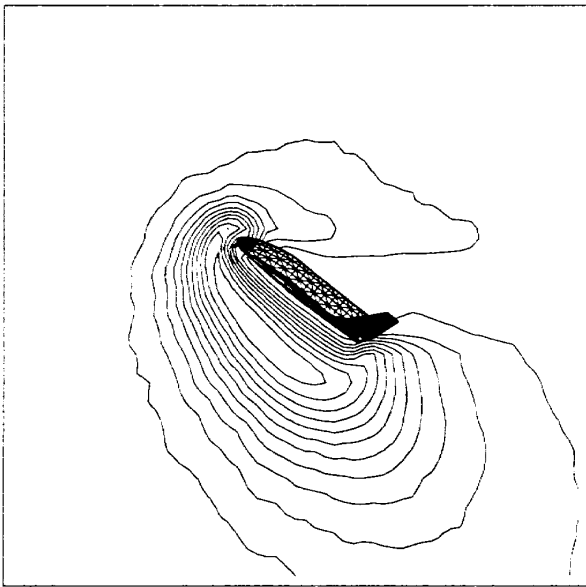


Fig.6 Translational temperature contour in the plane of symmetry of the HOPE.

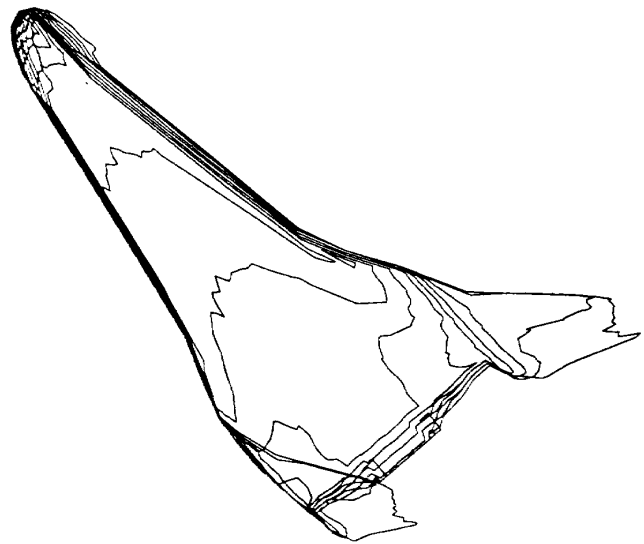


Fig.8 Heat transfer distribution in the front surface of the HOPE.

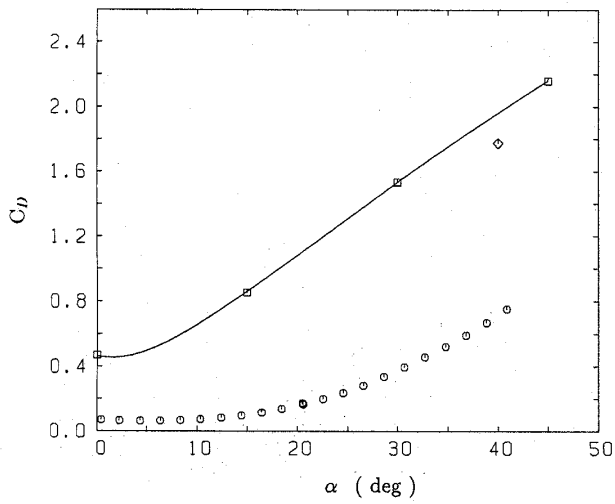


Fig.9 Drag coefficient ( $\diamond:Kn_\infty=1$ ) as compared with the free-molecule value ( $\square$ ; ---:theoretical). The experimental data ( $\circ:M_\infty=7$ ) measured in the NAL hypersonic wind tunnel are presented for comparison.

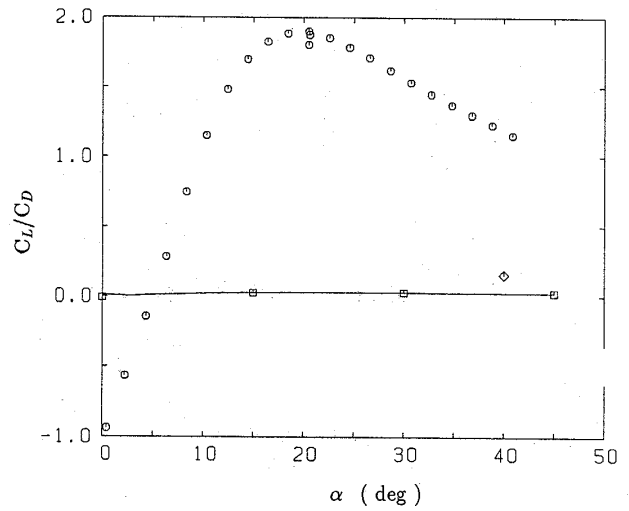


Fig.11 Ratio of lift to drag coefficients ( $\diamond:Kn_\infty=1$ ) as compared with the free molecule value ( $\square$ ; ---:theoretical). The experimental data ( $\circ; M_\infty=7$ ) measured in the NAL hypersonic wind tunnel are presented for comparison.

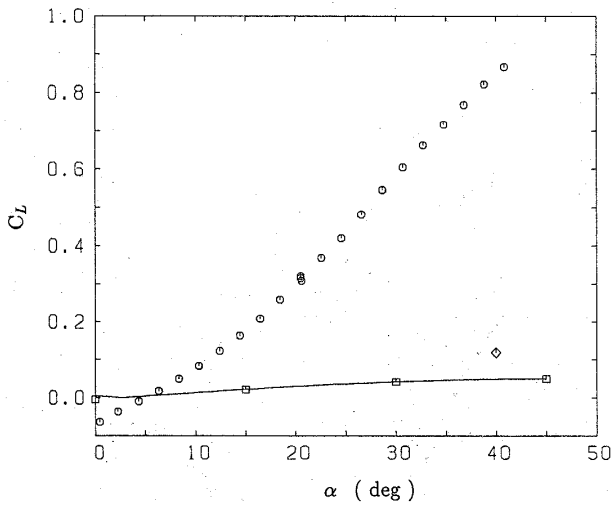


Fig.10 Lift coefficient ( $\diamond:Kn_\infty=1$ ) as compared with the free-molecule value ( $\square$ ; ---:theoretical). The experimental data ( $\circ:M_\infty=7$ ) measured in the NAL hypersonic wind tunnel are presented for comparison.