Boundary Layer Separation Control Using Vortex Generator Jets

(ジェットによる境界層の能動制御)

2000年4月

はしがき

研究組織

研究代表者：　松内一雄　筑波大学機能工学系

研究分担者：　正司秀信　筑波大学機能工学系

研究費

平成１０年度	1,800千円
平成１１年度	1,000千円
計	2,800千円

研究発表

(1) 学会誌等

- 長谷川裕晃、松内一雄、田中淳介：ジェット吹出しの縦渦発生装置による能動的はく離防止フィードバックシステムの開発、ターボ機械、26巻12号、1998、746-753.
- Hasegawa, H., Matsuuchi, K., and Yamakami, J.: The Mechanism of Active Boundary Layer Control Using Vortex Generator Jets, ICAS-98-3.4.3.
- 長谷川裕晃、松内一雄：ジェット吹出しによる縦渦発生装置の吹出し角の違いがはく離防止効果に与える影響、日本機械学会論文集（B編）、64巻627号、1998、3690-3696.
- Hasegawa, H., Matsuuchi, K., and Tanaka, J.: Development of an Active Separation Control System Using Vortex Generator Jets, Proc. 3rd ASME/JSME Joint Fluids Eng. Conf.、FEDSM99-6944、1999
- 長谷川裕晃、松内一雄、田中淳介：パルスジェット吹出しによる縦渦の生成メカニズム、日本機械学会論文集（B編）、巻号未定、2000

(2) 口頭発表

- 田中淳介、長谷川裕晃、松内一雄：縦渦発生ジェットを用いた能動的はく離防止システムの開発、日本機械学会流体工学部門講演会講演論文集、No.98-15、1998、53-54.

・ 田中淳介、長谷川裕晃、松内一雄：パルス噴出しの縦渦発生ジェットが縦渦に及ぼす影響、日本機械学会北陸信越支部第36期講演会講演論文集、No.997-1、1999、349-350.
・ 田中淳介、長谷川裕晃、松内一雄、小松崎泰寛：縦渦発生ジェットによる境界層内の渦構造、日本機械学会東海支部第49期総会講演会講演論文集、No.0001-3、2000、203-204.

TABLE OF CONTENTS

LIST OF TABLES · · · · · · · · · · · · · · · · iv
LIST OF FIGURES · · · · · · · · · · · · · · · · v

Chapter

1. INTRODUCTION · · · · · · · · · · · · · · **1**
1.1 Background · · · · · · · · · · · · · · · · 1
1.2 Literature Review · · · · · · · · · · · · · · 2
1.3 Objectives of This Study · · · · · · · · · · · · 7

2. FUNDAMENTAL THEORY · · · · · · · · · · · · **11**
2.1 Outline of Boundary Layer Theory · · · · · · · · · 11
2.1.1 The Boundary Layer Concept · · · · · · · · · 11
2.1.2 Boundary Layer Thickness · · · · · · · · · · 13
2.2 Flow in Diffusers · · · · · · · · · · · · · · · 15

3. EXPERIMENTAL APPARATUS · · · · · · · · · · **19**
3.1 Wind Tunnel · · · · · · · · · · · · · · · · 19
3.2 Laboratory Computer · · · · · · · · · · · · · 20
3.3 Velocity Measurement Instruments · · · · · · · · · 20
3.3.1 X-Array Hot Wire · · · · · · · · · · · · · 20
3.3.2 Streamwise Vorticity · · · · · · · · · · · · 24
3.3.3 Single-Wire Probe · · · · · · · · · · · · · 25
3.3.4 Hot Wire Anemometer · · · · · · · · · · · 26
3.3.5 Temperature Measurement Unit · · · · · · · · 26
3.3.6 Three-Axis Automatic Probe Traversing Unit · · · · · 26
3.4 Vortex Generator Jet Device · · · · · · · · · · · 27
3.5 Pressure Measurement Instruments · · · · · · · · · 27

4. EFFECT OF BOUNDARY LAYER CONDITION ON SEPARATION CONTROL · · · · · · · · · · · **38**
4.1 Experimental Method · · · · · · · · · · · · · 38

4.2 Results and Discussion · · · · · · · · · · · · · · · · 39
4.2.1 Transition with a Tripping Wire · · · · · · · · · · 39
4.2.2 Transition without a Tripping Wire · · · · · · · · · 40
4.3 Conclusions · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 41

5. MECHANISM OF ACTIVE BOUNDARY LAYER CONTROL · · · · · · · · · · · · · · · · · · 47
5.1 Experimental Method · · · · · · · · · · · · · · · 47
5.2 Results and Discussion · · · · · · · · · · · · · · · · 48
5.2.1 Waveform of Pulsed Jets · · · · · · · · · · · · · 48
5.2.2 Flow Visualization Results · · · · · · · · · · · · 48
5.2.3 Streamwise Velocity Measurements · · · · · · · · 49
5.2.4 Velocity Measurements in a *Y-Z* Plane · · · · · · · · 51
5.2.5 Application for Divergence Angle of 30 Degrees · · · · · 52
5.3 Conclusions · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 53

6. GENERATING MECHANISM OF LONGITUDINAL VORTICES USING PULSED JETS · · · · · · · · · · 73
6.1 Experimental Method · · · · · · · · · · · · · · · 73
6.2 Results and Discussion · · · · · · · · · · · · · · · · 74
6.2.1 Longitudinal Vortices in Various Phases of Pulsed Jets · · · · 74
6.2.2 Downstream Development of Longitudinal Vortices · · · · 75
6.2.3 Upward Development of Longitudinal Vortices · · · · · 77
6.3 Conclusions · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 78

7. EFFECT OF JET PITCH ANGLE ON SUPPRESSING FLOW SEPARATION · · · · · · · · · · · · · · 87
7.1 Experimental Method · · · · · · · · · · · · · · · 87
7.2 Results and Discussion · · · · · · · · · · · · · · · · 88
7.2.1 Flow Visualization Results · · · · · · · · · · · · 88
7.2.2 Velocity Measurements in a *Y-Z* Plane · · · · · · · · 89
7.2.3 Separation Effect versus Jet Pitch Angle · · · · · · · 91
7.2.4 Suppression Effect in the Downstream Direction · · · · 92
7.3 Conclusions · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 93

8. DEVELOPMENT OF ACTIVE SEPARATION CONTROL FEEDBACK SYSTEM · · · · · · · · · · · · · · **112**
8.1 Experimental Method · · · · · · · · · · · · · · · 112
8.2 Results and Discussion · · · · · · · · · · · · · · · 113
8.2.1 Control System of ASCSVGJ · · · · · · · · · · · · 114
8.2.2 Control Effect of ASCSVGJ · · · · · · · · · · · · 115
8.2.3 Applications of ASCSVGJ to the Separated Flow · · · · 116
8.2.4 Control Time of ASCSVGJ · · · · · · · · · · · · 118
8.2.5 Improved ASCSVGJ by Considering Control Time · · · · 119
8.3 Conclusions · · · · · · · · · · · · · · · · · · 120

9. SUMMARY AND RECOMMENDATIONS · · · · · · · **137**
9.1 Summary of Results and Conclusions · · · · · · · · · · 137
9.2 Recommendations for Future Work · · · · · · · · · · · 139

REFERENCES · · · · · · · · · · · · · · · · · **140**

APPENDICES · · · · · · · · · · · · · · · · · **144**

A LIST OF USED SYMBOLS · · · · · · · · · · · · · 144
A.1 General Symbols · · · · · · · · · · · · · · · 144
A.2 Symbols in This Experiment · · · · · · · · · · · · 145
B LIST OF EXPERIMENTAL INSTRUMENTS · · · · · · · · 147
C JET SPEED MEASUREMENTS · · · · · · · · · · · · · 148