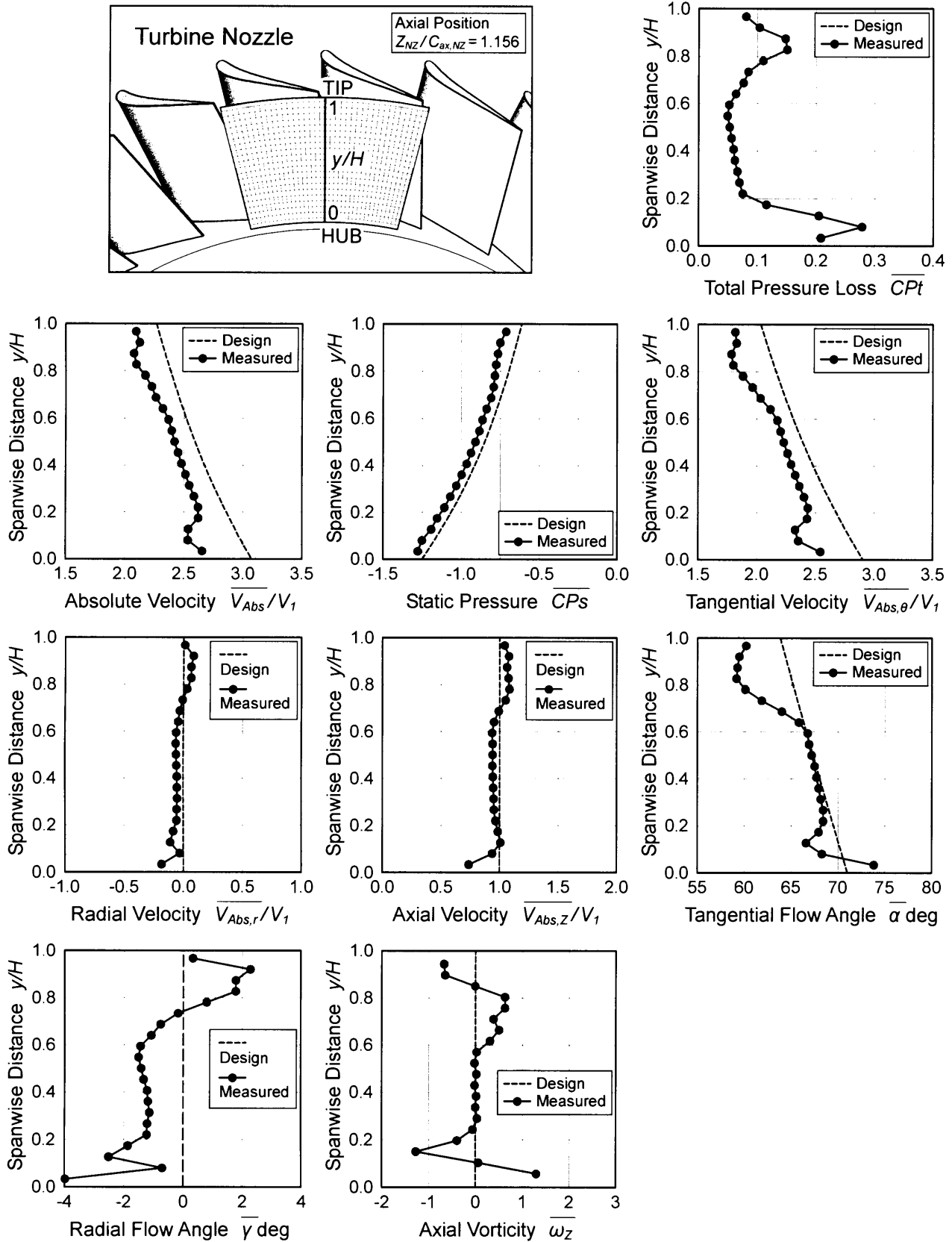
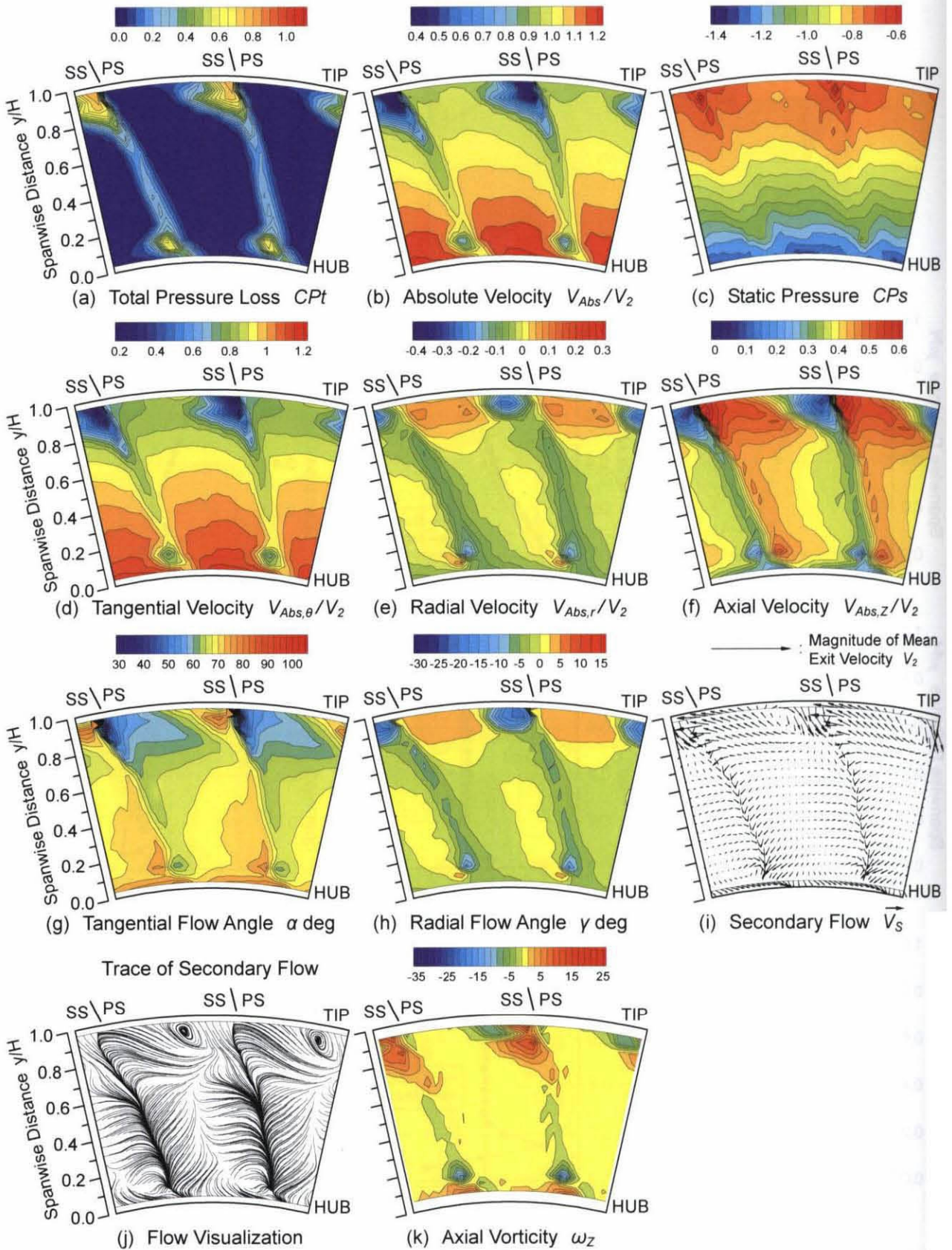


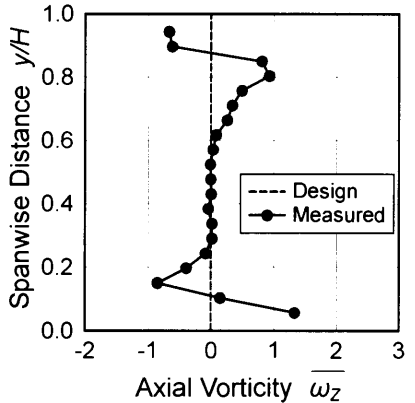
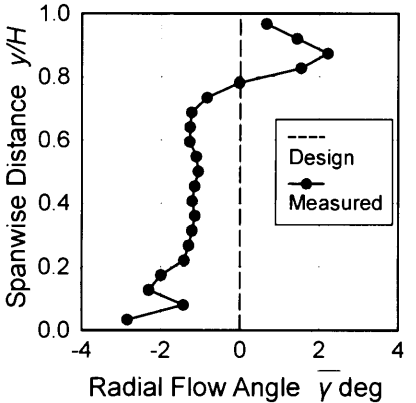
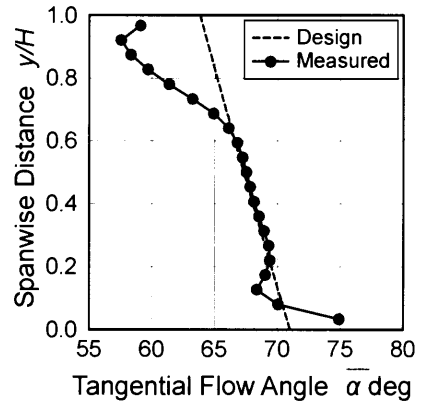
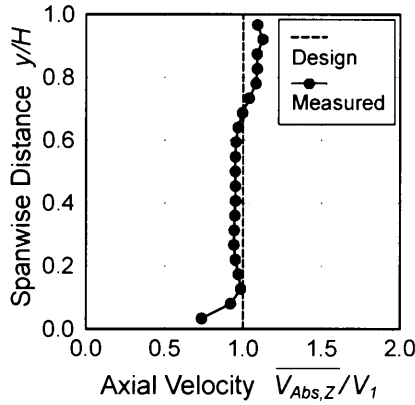
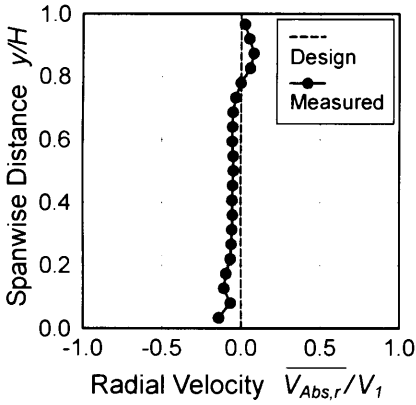
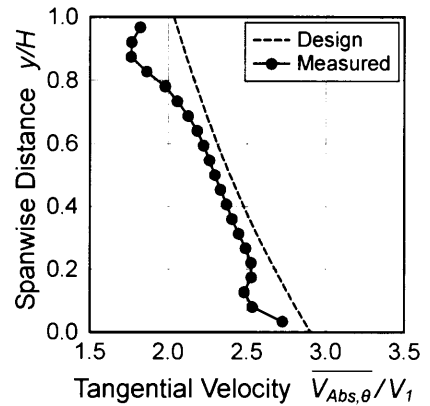
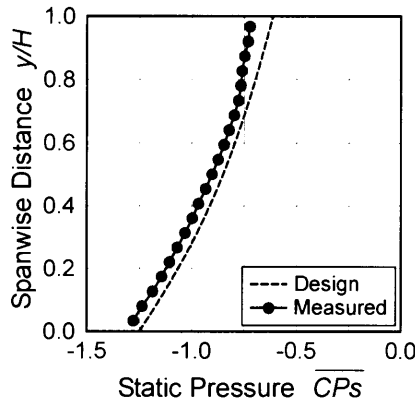
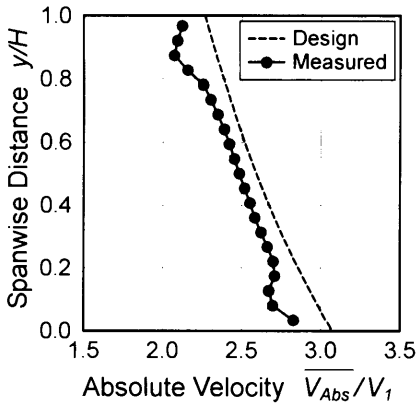
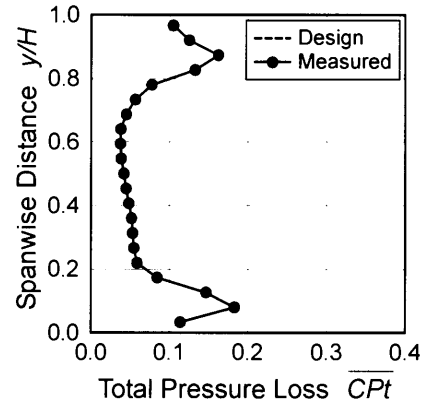
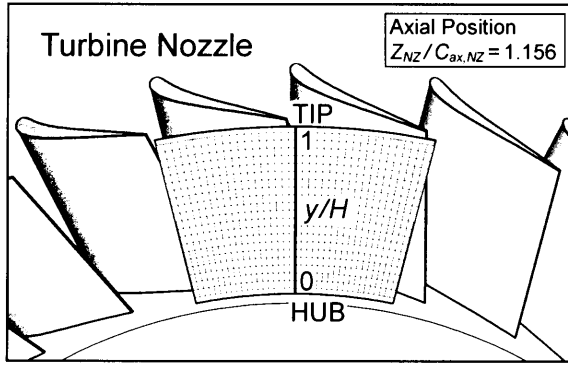
付図 2.63 レイノルズ数  $Re_{out,NZ}=4.2 \times 10^4$ , 主流乱れ度  $Tu_{in}=2.8\%$ , チップクリアランス  $k/H=0.00\%$  における静翼出口流れの測定結果 ( $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )



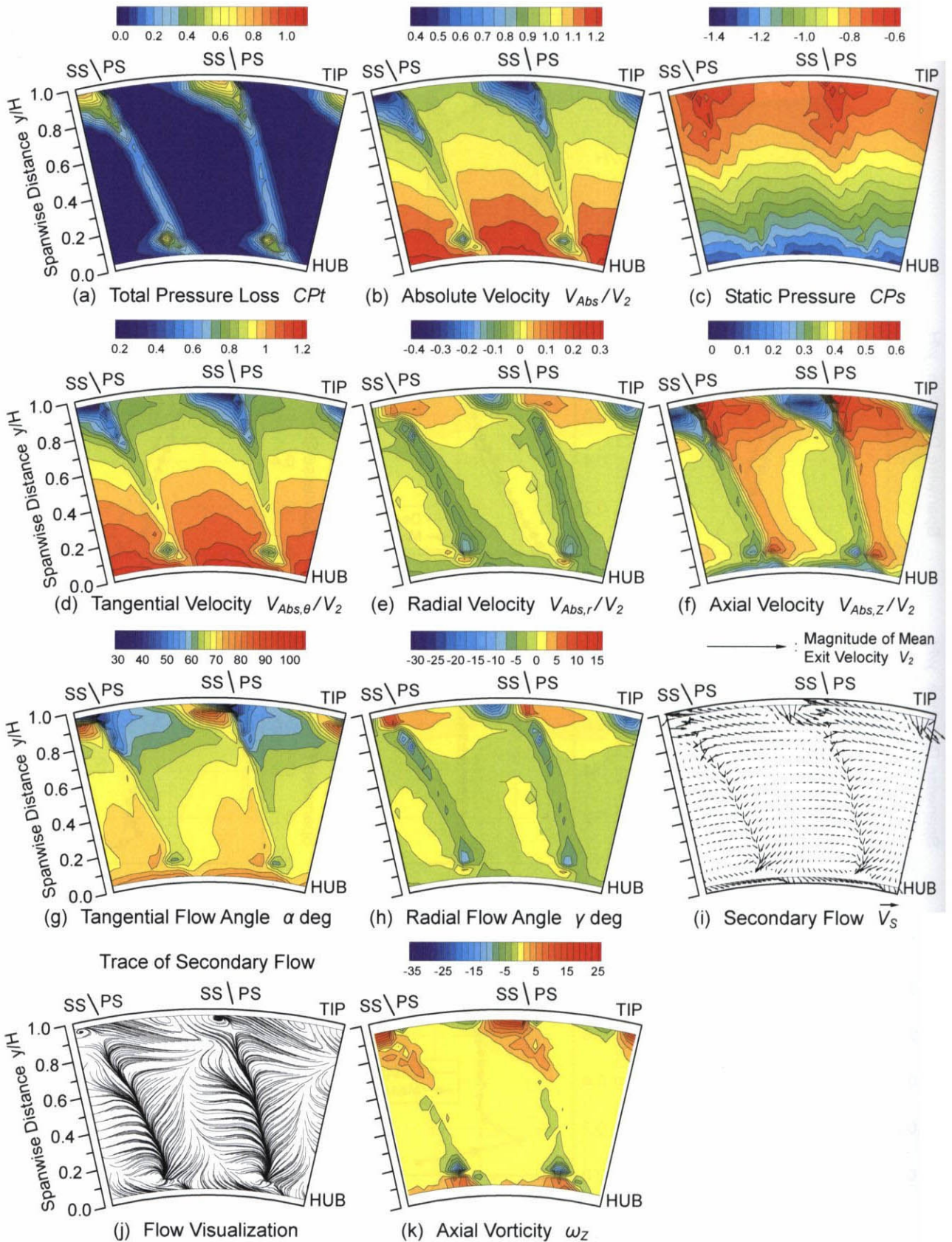
付図 2.64 レイノルズ数  $Re_{out,NZ} = 4.2 \times 10^4$ , 主流乱れ度  $Tu_{in} = 2.8\%$ , チップクリアランス  $k/H = 0.67\%$  における静翼出口流れの半径方向分布



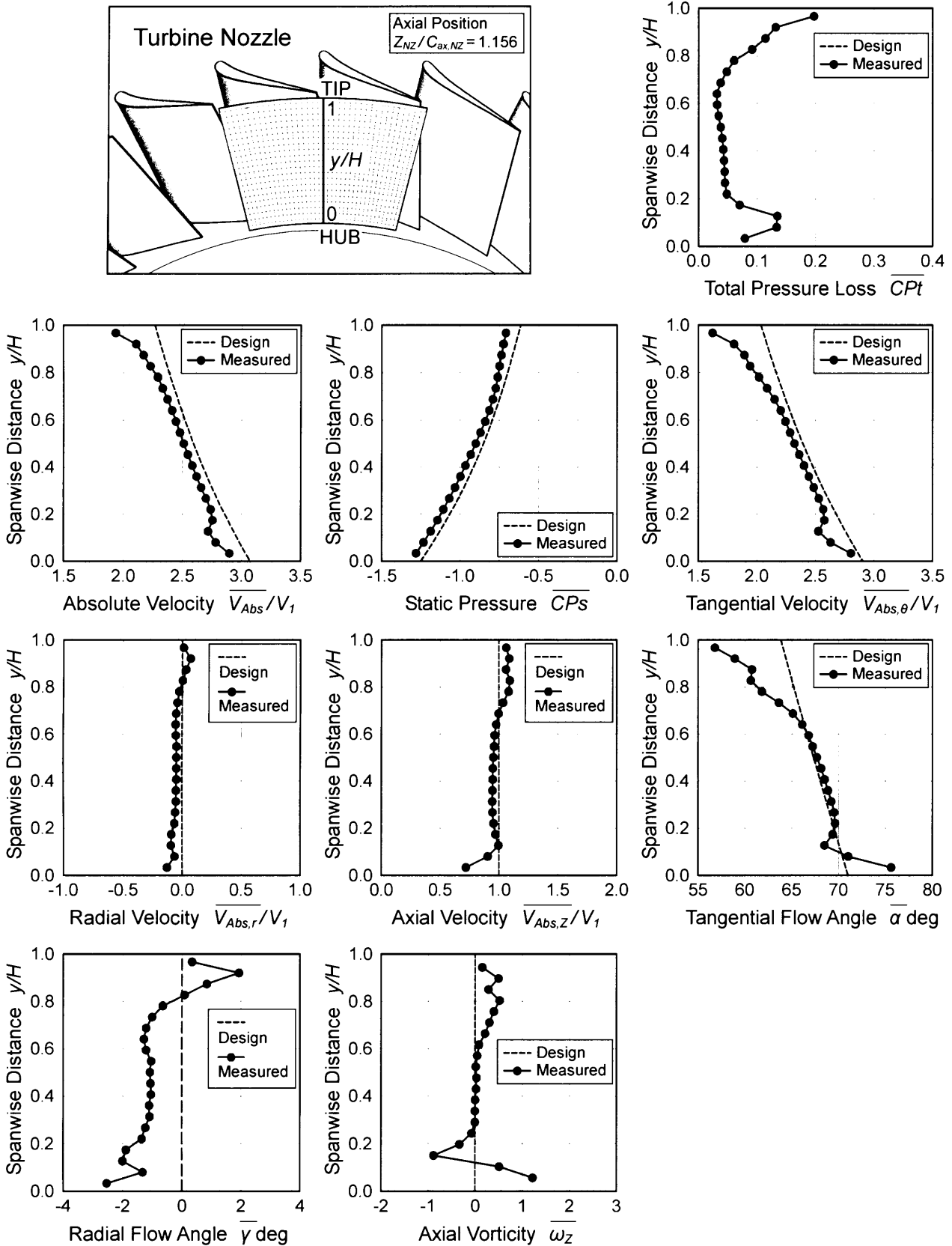
付図 2.65 レイノルズ数  $Re_{out,NZ} = 8.6 \times 10^4$ , 主流乱れ度  $Tu_m = 3.6\%$ , チップクリアランス  $k/H = 0.67\%$  における静翼出口流れの測定結果 ( $Z_{NZ}/C_{ax,NZ} = 1.156$ )



付図 2.66 レイノルズ数  $Re_{out,NZ} = 8.6 \times 10^4$ , 主流乱れ度  $Tu_{in} = 3.6\%$ , チップクリアランス  $k/H = 0.67\%$  における静翼出口流れの半径方向分布



付図 2.67 レイノルズ数  $Re_{out,NZ}=13.2 \times 10^4$ ，主流乱れ度  $Tu_{in}=4.1\%$ ，チップクリアランス  $k/H=0.67\%$  における静翼出口流れの測定結果 ( $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )



付図 2.68 レイノルズ数  $Re_{out,NZ} = 13.2 \times 10^4$ , 主流乱れ度  $Tu_m = 4.1\%$ , チップクリアランス  $k/H = 0.67\%$  における静翼出口流れの半径方向分布



## 図 表 一 覧

### 第 1 章の図表

図 1.1	300kW セラミックガスタービンの研究開発体制	13
図 1.2	300kW セラミックガスタービン CGT301 の概念図	14
図 1.3	CGT301 のカットモデルとタービン翼列	14
図 1.4	300kW セラミックガスタービン CGT302 の概念図	15
図 1.5	CGT302 のカットモデルとタービン翼列	15
図 1.6	300kW セラミックガスタービン CGT303 の概念図	16
図 1.7	CGT303 のタービン翼列	16
図 1.8	スミスチャートおよびタービン効率へのレイノルズ数の影響	19
図 1.9	タービン翼列の二次流れの概念図	20
表 1.1	300kW セラミックガスタービンの研究開発の目標	13
表 1.2	300kW セラミックガスタービンの仕様	17
表 1.3	300kW セラミックガスタービンのレイノルズ数	18

### 第 2 章の図表

図 2.1	実験室の様子	29
図 2.2	環状タービン翼列風洞の概観	30
図 2.3	環状タービン翼列風洞の写真	30
図 2.4	環状タービン翼列風洞の測定部	31



図 2.5	環状タービン翼列 (単段軸流タービン) .....	32
図 2.6	タービン静翼の写真 .....	33
図 2.7	タービン静翼形状 (原寸大) .....	34
図 2.8	タービン動翼の写真 .....	36
図 2.9	タービン動翼形状 (原寸大) .....	37
図 2.10	主流乱れ発生用の閉塞板 .....	46
図 2.11	静翼入口ミッドスパンの乱れ度 .....	47
図 2.12	静翼入口ミッドスパンの乱れの積分スケール .....	48
図 2.13	環状翼列風洞の計測システム .....	49
図 2.14	計測装置の写真 .....	50
図 2.15	トラバース装置の写真 .....	51
図 2.16	5孔ピトー管の設計図 .....	52
図 2.17	5孔ピトー管の写真 .....	53
図 2.18	3孔ピトー管の写真 .....	54
図 2.19	熱線プローブ (平行流型, 日本カノマックス MODEL 0247R) .....	55
図 2.20	熱線プローブ (上流型, 日本カノマックス MODEL 0248R) .....	56
図 2.21	検定風洞 .....	57
図 2.22	LDV 計測システムの写真 .....	58
図 2.23	煙発生装置の写真 (Dantec Fog Generator, Model 2001) .....	60
図 2.24	風洞への煙の導入方法 .....	61
表 2.1	タービン静翼の仕様 .....	35
表 2.2	タービン動翼の仕様 .....	38
表 2.3	タービン静翼の座標 (翼正圧面側) .....	39
表 2.4	タービン静翼の座標 (翼負圧面側) .....	40
表 2.5	タービン動翼の座標 (翼正圧面側) .....	42
表 2.6	タービン動翼の座標 (翼負圧面側) .....	43
表 2.7	タービン設計の無次元パラメータ値 .....	45
表 2.8	乱れ発生用の閉塞板の仕様 .....	46
表 2.9	各レイノルズ数における静翼入口ミッドスパンの乱れ度 .....	47
表 2.10	各レイノルズ数における静翼入口ミッドスパンの乱れの積分スケール .....	48
表 2.11	LDV 計測の不確かさ解析 .....	62

## 第3章の図表

図 3.1	剥離泡の概念図	71
図 3.2	境界層計算のフローチャート	72
図 3.3	タービン静翼のチップ部に対する負圧面側の境界層計算の結果	73
図 3.4	タービン静翼の各半径位置に対する負圧面側の境界層計算の結果	74
図 3.5	タービン静翼の境界層流れとレイノルズ数の関係の予測結果	74

## 第4章の図表

図 4.1	静翼出口の測定面（5孔ピトー管）	117
図 4.2	5孔ピトー管による静翼の入口と出口の測定位置（原寸大）	118
図 4.3	5孔ピトー管による静翼出口の測定格子（原寸大）	118
図 4.4	熱線流速計による静翼後流の詳細計測における測定面	119
図 4.5	熱線流速計による静翼後流の詳細計測の測定位置（原寸大）	120
図 4.6	熱線流速計による静翼後流の詳細計測での測定格子（原寸大）	120
図 4.7	熱線流速計による静翼出口の壁面近傍流れの詳細計測における測定面	121
図 4.8	熱線流速計による静翼出口の壁面近傍流れの詳細計測（原寸大）	122
図 4.9	静翼出口の壁面近傍流れの詳細計測での測定格子（原寸大）	122
図 4.10	入口境界層の排除厚さ、運動量厚さ、形状係数	123
図 4.11	各レイノルズ数での静翼入口の流れ	124
図 4.12	各レイノルズ数での静翼入口の壁面近傍の流れ	125
図 4.13	油膜法による静翼負圧面側の流れの可視化（下流側から見た写真） （レイノルズ数 $Re_{out,NZ} = 4.5 \times 10^4$ ，主流乱れ度 $Tu_m = 0.5\%$ ）	126
図 4.14	油膜法による静翼負圧面側の流れの可視化（下流側から見た写真） （レイノルズ数 $Re_{out,NZ} = 13.6 \times 10^4$ ，主流乱れ度 $Tu_m = 0.5\%$ ）	127
図 4.15	油膜法による静翼負圧面側の流れの可視化（下流側から見た写真） （レイノルズ数 $Re_{out,NZ} = 27.1 \times 10^4$ ，主流乱れ度 $Tu_m = 0.5\%$ ）	128
図 4.16	Hunter (1982) による環状タービン翼列の計測	129
図 4.17	各レイノルズ数における静翼出口での全圧損失分布	130
図 4.18	高レイノルズ数 $Re_{out,NZ} = 27.1 \times 10^4$ での全圧損失分布と 各レイノルズ数での全圧損失分布の差	131

図 4.19	各レイノルズ数での全圧損失の半径方向分布	132
図 4.20	静翼出口の各半径方向位置における損失へのレイノルズ数の影響	133
図 4.21	損失の分類法	139
図 4.22	レイノルズ数が損失に与える影響	140
図 4.23	正味総全圧損失（翼列損失）とレイノルズ数の関係	141
図 4.24	形状損失とレイノルズ数の関係	142
図 4.25	ミッドスパン損失とレイノルズ数の関係	143
図 4.26	正味二次損失とレイノルズ数の関係	144
図 4.27	チップ側の正味二次損失とレイノルズ数の関係	145
図 4.28	ハブ側の正味二次損失とレイノルズ数の関係	146
図 4.29	各半径方向位置における損失とレイノルズ数の関係 （各半径方向位置での損失値とレイノルズ数相関の比較）	147
図 4.30	出口全圧損失の実験値と予測値の比較	153
図 4.31	形状損失の実験値と予測値の比較	154
図 4.32	二次損失の実験値と予測値の比較	155
図 4.33	静翼出口の流れに与えるレイノルズ数の影響	156
図 4.34	静翼出口流れの半径方向分布に与えるレイノルズ数の影響	160
図 4.35	静翼出口での速度，流れ角，乱れ度の質量流量平均値に対する レイノルズ数の影響	162
図 4.36	熱線流速計による静翼後流の詳細計測 ( $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ )	163
図 4.37	$Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ における各半径位置での静翼後流	164
図 4.38	$Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ における各半径位置での境界層パラメータ	168
図 4.39	各レイノルズ数における静翼ミッドスパンの後流の詳細計測 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ での速度と乱れ度のピッチ方向分布	170
図 4.40	各レイノルズ数での静翼ミッドスパンの後流（翼2枚の平均値） $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ での速度と乱れ度のピッチ方向分布	171
図 4.41	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響 （軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ ）	172
図 4.42	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響 （正圧面側の境界層，軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ ）	174
図 4.43	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響 （負圧面側の境界層，軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ ）	176
図 4.44	静翼ミッドスパン後流の境界層排除厚さ $\delta_l$ と レイノルズ数の関係（軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ ）	178

図 4.45	静翼ミッドスパン後流の境界層運動量厚さ $\delta_2$ と レイノルズ数の関係 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ )	179
図 4.46	静翼ミッドスパン後流の境界層エネルギー消散厚さ $\delta_3$ と レイノルズ数の関係 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.074$ )	180
図 4.47	熱線流速計による静翼後流の詳細計測 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ ) $Re_{out,NZ}=4.5 \times 10^4$ での速度分布と乱れ度分布	181
図 4.48	$Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ における各半径位置での静翼後流 $Re_{out,NZ}=4.5 \times 10^4$ での速度と乱れ度のピッチ方向分布	182
図 4.49	$Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ における各半径位置での境界層パラメータ	186
図 4.50	各レイノルズ数における静翼ミッドスパンの後流の詳細計測 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ での速度と乱れ度のピッチ方向分布	188
図 4.51	各レイノルズ数での静翼ミッドスパンの後流 (翼 2 枚の平均値) $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ での速度と乱れ度のピッチ方向分布	189
図 4.52	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	190
図 4.53	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響 (正圧面側の境界層, 軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	192
図 4.54	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響 (負圧面側の境界層, 軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	194
図 4.55	静翼ミッドスパン後流の境界層排除厚さ $\delta_1$ と レイノルズ数の関係 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	196
図 4.56	静翼ミッドスパン後流の境界層運動量厚さ $\delta_2$ と レイノルズ数の関係 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	197
図 4.57	静翼ミッドスパン後流の境界層エネルギー消散厚さ $\delta_3$ と レイノルズ数の関係 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	198
図 4.58	熱線流速計による壁面近傍流れの詳細計測 $Re_{out,NZ}=4.5 \times 10^4$ での速度分布と乱れ度分布 ( $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	199
図 4.59	熱線流速計による壁面近傍流れの詳細計測 $Re_{out,NZ}=13.6 \times 10^4$ での速度分布と乱れ度分布 ( $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	200
図 4.60	熱線流速計による壁面近傍流れの詳細計測 $Re_{out,NZ}=27.1 \times 10^4$ での速度分布と乱れ度分布 ( $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	201
図 4.61	各レイノルズ数での壁面近傍流れ (翼 2 ピッチを平均化した分布)	
図 4.62	各レイノルズ数での速度・乱れ度のスパン方向分布	202

図 4.63	各レイノルズ数における静翼出口のハブ側壁面の境界層パラメータのピッチ方向分布	213
図 4.64	各レイノルズ数における静翼出口のチップ側壁面の境界層パラメータのピッチ方向分布	215
図 4.65	静翼出口のハブ側壁面の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響	217
図 4.66	静翼出口のチップ側壁面の境界層パラメータへのレイノルズ数の影響	219
図 4.67	各主流乱れ度での静翼入口の流れ	221
図 4.68	各主流乱れ度での静翼入口の壁面近傍の流れ	221
図 4.69	各主流乱れ度における静翼出口での全圧損失分布	223
図 4.70	低主流乱れ度 $Tu_{in}=0.5\%$ での全圧損失分布と各主流乱れ度での全圧損失分布の差	224
図 4.71	各主流乱れ度での全圧損失の半径方向分布	225
図 4.72	静翼出口の各半径方向位置における損失への主流乱れ度の影響	226
図 4.73	主流乱れ度が損失に与える影響	232
図 4.74	静翼出口の流れに与える主流乱れ度の影響	233
図 4.75	静翼出口流れの半径方向分布に与える主流乱れ度の影響	237
図 4.76	静翼出口での速度と乱れ度のピッチ方向分布および瞬時速度波形 (半径方向位置 $y/H=0.59$ , $Re_{out,NZ}=13.6\times 10^4$ )	239
図 4.77	$Tu_{in}=0.5\%$ と $Tu_{in}=8.7\%$ における静翼出口直後での乱れ度分布	240
図 4.78	$Tu_{in}=0.5\%$ と $Tu_{in}=8.7\%$ における静翼負圧面側の剥離域	240
図 4.79	各主流乱れ度における静翼ミッドスパンの後流の詳細計測 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ での速度と乱れ度のピッチ方向分布	241
図 4.80	各主流乱れ度での静翼ミッドスパンの後流 (翼2枚の平均値) $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ での速度と乱れ度のピッチ方向分布	242
図 4.81	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへの主流乱れ度の影響 (軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	243
図 4.82	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへの主流乱れ度の影響 (正圧面側の境界層, 軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	245
図 4.83	静翼ミッドスパンの後流の境界層パラメータへの主流乱れ度の影響 (負圧面側の境界層, 軸方向位置 $Z_{NZ}/C_{ax,NZ}=1.156$ )	247
図 4.84	総全圧損失	249
図 4.85	形状損失	250
図 4.86	二次損失	251
図 4.87	チップ側の二次損失	252

図 4.88	ハブ側の二次損失	253
図 4.89	周方向流れ角（測定面の質量流量平均値）	254
表 4.1	静翼出口の測定格子（5孔ピトー管）	117
表 4.2	静翼後流の詳細計測の測定格子	119
表 4.3	静翼出口の壁面近傍流れの詳細計測の測定格子	121
表 4.4	各レイノルズ数での静翼入口の境界層厚さと形状係数	125
表 4.5	$Re_{out.NZ}=4.5 \times 10^4$ と $27.1 \times 10^4$ における損失値 ( $Tu_{in}=0.5\%$ )	140
表 4.6	正味総全圧損失（翼列損失）とレイノルズ数相関（-0.2 乗）の比較	141
表 4.7	形状損失とレイノルズ数相関（-0.2 乗）の比較	142
表 4.8	ミッドスパン損失とレイノルズ数相関（-0.2 乗）の比較	143
表 4.9	正味二次損失とレイノルズ数相関（-0.2 乗）の比較	144
表 4.10	チップ側の正味二次損失とレイノルズ数相関（-0.2 乗）の比較	145
表 4.11	ハブ側の正味二次損失とレイノルズ数相関（-0.2 乗）の比較	146
表 4.12	各レイノルズ数における出口全圧損失の実験値と予測値	153
表 4.13	各レイノルズ数における形状損失の実験値と予測値	154
表 4.14	各レイノルズ数における二次損失の実験値と予測値	155
表 4.15	各主流乱れ度での静翼入口の境界層厚さと形状係数	222
表 4.16	$Tu_{in}=0.5\%$ と $Tu_{in}=8.7\%$ における損失値 ( $Re_{out.NZ}=13.6 \times 10^4$ )	232
表 4.17	各レイノルズ数および各主流乱れ度における総全圧損失	249
表 4.18	各レイノルズ数および各主流乱れ度における形状損失	250
表 4.19	各レイノルズ数および各主流乱れ度における二次損失	251
表 4.20	各レイノルズ数および各主流乱れ度におけるチップ側の二次損失	252
表 4.21	各レイノルズ数および各主流乱れ度におけるハブ側の二次損失	253
表 4.22	各レイノルズ数および各主流乱れ度における周方向流れ角 （測定面の質量流量平均値）	254

## 第5章の図表

図 5.1	静翼出口の測定面とチップクリアランスの有無の調整方法	285
図 5.2	風洞測定部の断面とチップクリアランスの有無の調整方法	286
図 5.3	チップクリアランスの調節	287

図 5.4	各レイノルズ数における静翼出口での全圧損失分布に与える チップクリアランスの影響	288
図 5.5	各レイノルズ数におけるチップクリアランスが ある場合とない場合の全圧損失分布の差	290
図 5.6	各レイノルズ数での全圧損失の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	291
図 5.7	チップクリアランスが静翼出口損失に与える影響 (レイノルズ数の影響)	295
図 5.8	各レイノルズ数におけるチップクリアランス損失	296
図 5.9	各レイノルズ数におけるチップクリアランス損失の実験値と予測値	297
図 5.10	各レイノルズ数における静翼出口での 二次流れベクトル分布に与えるチップクリアランスの影響	298
図 5.11	各レイノルズ数におけるチップクリアランスが ある場合とない場合の二次流れベクトル分布の差	300
図 5.12	各レイノルズ数における静翼出口での二次流れの可視化トレース に与えるチップクリアランスの影響	301
図 5.13	静翼出口の渦度分布に与えるチップクリアランスの影響 (レイノルズ数の影響)	303
図 5.14	各レイノルズ数での渦度の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	304
図 5.15	静翼出口の絶対速度分布に与えるチップクリアランスの影響 (レイノルズ数の影響)	305
図 5.16	各レイノルズ数での絶対速度の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	306
図 5.17	静翼出口の軸方向速度分布に与えるチップクリアランスの影響 (レイノルズ数の影響)	307
図 5.18	各レイノルズ数での軸方向速度の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	308
図 5.19	静翼出口の静圧分布に与えるチップクリアランスの影響 (レイノルズ数の影響)	309
図 5.20	各レイノルズ数での静圧の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	310
図 5.21	静翼出口の周方向流れ角分布に与えるチップクリアランスの影響 (レイノルズ数の影響)	311

図 5.22	各レイノルズ数での周方向流れ角の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	312
図 5.23	チップクリアランスが静翼出口の周方向流れ角に与える影響	316
図 5.24	各レイノルズ数においてチップクリアランスの有無が静翼出口の 周方向流れ角に与える影響	317
図 5.25	静翼出口の半径方向流れ角分布に与えるチップクリアランスの影響 (レイノルズ数の影響)	318
図 5.26	各レイノルズ数での半径方向流れ角の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	319
図 5.27	チップクリアランスが静翼出口の半径方向流れ角に与える影響 (レイノルズ数の影響)	323
図 5.28	各レイノルズ数においてチップクリアランスの有無が静翼出口の 周方向流れ角に与える影響	324
図 5.29	各主流乱れ度における静翼出口での全圧損失分布に与えるチップ クリアランスの影響	325
図 5.30	各主流乱れ度におけるチップクリアランスがある場合とない場合の 全圧損失分布の差	326
図 5.31	各主流乱れ度での全圧損失の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	327
図 5.32	チップクリアランスが静翼出口損失に与える影響 (主流乱れ度の影響)	330
図 5.33	各主流乱れ度におけるチップクリアランス損失 (主流乱れ度の影響)	331
図 5.34	各主流乱れ度における静翼出口での二次流れベクトル分布に与える チップクリアランスの影響	332
図 5.35	各主流乱れ度におけるチップクリアランスが ある場合とない場合の二次流れベクトル分布の差	333
図 5.36	各主流乱れ度における静翼出口での二次流れの 可視化トレースに与えるチップクリアランスの影響	334
図 5.37	静翼出口の渦度分布に与えるチップクリアランスの影響 (主流乱れ度の影響)	335
図 5.38	各主流乱れ度での渦度の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響	336



図 5.39	静翼出口の速度分布に与えるチップクリアランスの影響 (主流乱れ度の影響) .....	337
図 5.40	各主流乱れ度での速度の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響 .....	338
図 5.41	静翼出口の軸方向速度分布に与えるチップクリアランスの影響 (主流乱れ度の影響) .....	339
図 5.42	各主流乱れ度での軸方向速度の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響 .....	340
図 5.43	静翼出口の静圧分布に与えるチップクリアランスの影響 (主流乱れ度の影響) .....	341
図 5.44	各主流乱れ度での静圧の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響 .....	342
図 5.45	静翼出口の周方向流れ角分布に与えるチップクリアランスの影響 (主流乱れ度の影響) .....	343
図 5.46	各主流乱れ度での周方向流れ角の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響 .....	344
図 5.47	チップクリアランスが静翼出口の周方向流れ角に与える影響 (主流乱れ度の影響) .....	347
図 5.48	各主流乱れ度においてチップクリアランスの有無が 静翼出口の周方向流れ角に与える影響 .....	348
図 5.49	静翼出口の半径方向流れ角分布に与えるチップクリアランスの影響 (主流乱れ度の影響) .....	349
図 5.50	各主流乱れ度での半径方向流れ角の半径方向分布に与える チップクリアランスの影響 .....	350
図 5.51	チップクリアランスが静翼出口の半径方向流れ角に与える影響 (主流乱れ度の影響) .....	353
図 5.52	各主流乱れ度においてチップクリアランスの有無が 静翼出口の周方向流れ角に与える影響 .....	354
図 5.53	静翼出口の全圧損失へのチップクリアランスの影響 .....	355
図 5.54	チップクリアランス損失 .....	356
図 5.55	静翼出口の周方向流れ角へのチップクリアランスの影響 .....	357
図 5.56	チップクリアランスの有無による周方向流れ角の変化量 .....	358
表 5.1	静翼出口の測定格子 (チップクリアランスの影響の測定) .....	285

表 5.2	風洞寸法とチップクリアランスの大きさ	286
表 5.3	各レイノルズ数における損失値へのチップクリアランスの影響	295
表 5.4	各レイノルズ数におけるチップクリアランス損失と その平均および偏差	296
表 5.5	チップクリアランス損失の実験値と予測値の比較 (レイノルズ数の影響)	297
表 5.6	各レイノルズ数における周方向流れ角への チップクリアランスの影響	316
表 5.7	チップクリアランスが周方向流れ角に与える影響 (レイノルズ数の影響, 実験値と予測値)	317
表 5.8	各レイノルズ数における半径方向流れ角に対する チップクリアランスの影響	323
表 5.9	チップクリアランスが半径方向流れ角に与える影響 (レイノルズ数の影響)	324
表 5.10	各主流乱れ度における損失値へのチップクリアランスの影響	330
表 5.11	各主流乱れ度におけるチップクリアランス損失と その平均および偏差	331
表 5.12	各主流乱れ度における周方向流れ角へのチップクリアランスの影響	347
表 5.13	チップクリアランスが周方向流れ角に与える影響 (主流乱れ度の影響, 実験値と予測値)	348
表 5.14	各主流乱れ度における半径方向流れ角に対する チップクリアランスの影響	353
表 5.15	チップクリアランスが半径方向流れ角に与える影響 (主流乱れ度の影響)	354
表 5.16	静翼出口の全圧損失へのチップクリアランスの影響	355
表 5.17	チップクリアランス損失	356
表 5.18	静翼出口の周方向流れ角へのチップクリアランスの影響	357
表 5.19	チップクリアランスの有無による周方向流れ角の変化量	358

## 第6章の図表

図 6.1	速度三角形 (絶対流れと相対流れ)	375
図 6.2	LDV 測定位置 (ミッドスパン)	376

図 6.3	データ解析方法（絶対座標系）	377
図 6.4	データ解析方法（相対座標系）	377
図 6.5	動翼出口におけるデータ解析の例	378
図 6.6	LDV と 5 孔ピトー管，熱線流速計のデータ比較 （静翼出口 $z/C_{ax,RT} = -0.499$ での時間平均絶対速度）	379
図 6.7	絶対座標系での速度と流れ角の軸方向分布	380
図 6.8	相対座標系での速度と流れ角の軸方向分布	380
図 6.9	設計と実験の速度三角形の比較	381
図 6.10	絶対座標系の時間平均流れ	382
図 6.11	相対座標系の時間平均流れ	384
図 6.12	絶対座標系の非定常流れ	385
図 6.13	絶対座標系における静翼ウエーク形状，絶対速度の低い領域， 乱れ度の高い領域の関係	388
図 6.14	相対座標系の非定常流れ	390
図 6.15	動翼周りの速度変動ベクトル分布（相対座標系）	396
図 6.16	相対座標系における静翼ウエーク形状，渦度変動分布， 速度変動分布	397
図 6.17	動翼出口と動翼最下流での相対速度の ピッチ方向分布（相対座標系）	399
図 6.18	動翼ウエークの排除厚さの時間変化と軸方向変化（相対座標系）	399
図 6.19	動翼後縁付近の非定常流れ （動翼後縁での静翼ウエークと動翼ウエークの干渉）	400
図 6.20	次図（図 6.21～図 6.23）に示す各軸方向位置での相対速度， 相対流れ角，乱れ度の時間変化分布における測定位置の説明	401
図 6.21	各軸方向位置における相対速度の時間変化（ミッドスパン）	402
図 6.22	各軸方向位置における相対流れ角の時間変化（ミッドスパン）	403
図 6.23	各軸方向位置における乱れ度の時間変化（ミッドスパン）	404
図 6.24	次図（図 6.25）に示す動翼表面の非定常流れ分布における 翼表面座標の説明	405
図 6.25	動翼表面近傍の非定常流れ（ミッドスパン）	406
図 6.26	乱れ成分の分布	407
図 6.27	静翼出口での乱れ成分とレイノルズ応力のピッチ方向分布 （軸方向位置 $z/C_{ax,NZ} = 1.122$ ， $z/C_{ax,RT} = -0.548$ ）	408

図 6.28	動翼出口での乱れ成分とレイノルズ応力のピッチ方向分布 (軸方向位置 $z/C_{ax,RT}=1.111$ ) .....	408
表 6.1	静翼出口 $z/C_{ax,RT}=-0.499$ での時間平均絶対速度における 5 孔ピトー管および熱線流速計の測定データと LDV の測定 データとの最大差と平均偏差 .....	379
表 6.2	静翼出口流れの実験値と設計値の比較 .....	381
表 6.3	動翼出口流れの実験値と設計値の比較 .....	381

## 第7章の図表

図 7.1	相対座標系の時間平均相対速度へのレイノルズ数の影響 .....	417
図 7.2	相対座標系の時間平均相対乱れ度へのレイノルズ数の影響 .....	417
図 7.3	相対座標系における非定常相対速度へのレイノルズ数の影響 .....	418
図 7.4	相対座標系における非定常相対速度変動へのレイノルズ数の影響 .....	419
図 7.5	相対座標系における非定常相対流れ角へのレイノルズ数の影響 .....	420
図 7.6	相対座標系における非定常相対流れ角変動へのレイノルズ数の影響 .....	421
図 7.7	相対座標系における非定常相対速度ベクトルへのレイノルズ数の影響 .....	422
図 7.8	相対座標系における非定常速度変動ベクトルへのレイノルズ数の影響 .....	423
図 7.9	相対座標系における非定常相対乱れ度へのレイノルズ数の影響 .....	424
図 7.10	動翼出口直後 (軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.068$ ) での速度変動に対する レイノルズ数の影響 .....	425
図 7.11	各レイノルズ数における動翼出口ミッドスパンの速度分布 (軸方向位置 $Z_{RT}/C_{ax,RT}=1.066$ , 主流乱れ度 $Tu_{in}=0.5\%$ ) .....	426
図 7.12	エネルギー消散厚さとレイノルズ数の関係 .....	427
図 7.13	相対座標系における非定常相対速度への主流乱れ度の影響 .....	428
図 7.14	相対座標系における非定常相対速度変動への主流乱れ度の影響 .....	429
図 7.15	相対座標系における非定常相対流れ角への主流乱れ度の影響 .....	430
図 7.16	相対座標系における非定常相対流れ角変動への主流乱れ度の影響 .....	431
図 7.17	相対座標系における非定常相対速度ベクトルへの主流乱れ度の影響 .....	432
図 7.18	相対座標系における非定常速度変動ベクトルへの主流乱れ度の影響 .....	433
図 7.19	相対座標系における非定常相対速度ベクトルへの主流乱れ度の影響 .....	434

表 7.1	エネルギー消散厚さとレイノルズ数相関 (-0.2 乗) の比較	427
-------	---------------------------------	-----

## 第 8 章の図表

図 8.1	Binder ら (1985) によるタービン動翼の非定常流れの計測	469
図 8.2	Gallus ら (1994) によるタービン動翼の非定常流れの計測	470
図 8.3	動翼まわりの LDV 測定位置	471
図 8.4	静翼出口, 動翼入口の非定常流れ (絶対座標系) (測定面 1, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = -0.497$ )	472
図 8.5	静翼出口, 動翼入口の非定常流れ (相対座標系) (測定面 1, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = -0.497$ )	474
図 8.6	静翼出口, 動翼入口の非定常流れ (相対座標系) (測定面 3, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = -0.401$ )	476
図 8.7	静翼出口, 動翼入口の非定常流れ (相対座標系) (測定面 5, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = -0.303$ )	478
図 8.8	静翼出口, 動翼入口の非定常流れ (相対座標系) (測定面 7, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = -0.205$ )	480
図 8.9	静翼下流, 動翼上流の非定常流れ (相対座標系) (測定面 9, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = -0.108$ )	482
図 8.10	動翼入口の非定常流れ (相対座標系) (測定面 11, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = -0.098$ )	484
図 8.11	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 13, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = 0.088$ )	486
図 8.12	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 15, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = 0.186$ )	488
図 8.13	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 17, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = 0.284$ )	490
図 8.14	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 19, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = 0.381$ )	492
図 8.15	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 21, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = 0.479$ )	494
図 8.16	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 23, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT} = 0.577$ )	496

図 8.17	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 25, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=0.675$ )	498
図 8.18	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 27, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=0.773$ )	500
図 8.19	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 29, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=0.870$ )	502
図 8.20	動翼内部の非定常流れ (相対座標系) (測定面 31, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=0.968$ )	504
図 8.21	動翼出口の非定常流れ (相対座標系) (測定面 33, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.066$ )	506
図 8.22	動翼出口の非定常流れ (相対座標系) (測定面 35, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.164$ )	508
図 8.23	動翼下流の非定常流れ (相対座標系) (測定面 37, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.262$ )	510
図 8.24	動翼下流の非定常流れ (相対座標系) (測定面 39, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.359$ )	512
図 8.25	動翼下流の非定常流れ (相対座標系) (測定面 41, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.457$ )	514
図 8.26	動翼最下流の非定常流れ (相対座標系) (測定面 44, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.604$ )	516
図 8.27	動翼出口の非定常相対速度のピッチ方向分布 (相対座標系) (測定面 35, 軸方向位置 $Z/C_{ax,RT}=1.164$ )	518

---

---

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり，研究内容や論文構成について懇切丁寧なご指導，ご鞭撻，そして暖かい励ましを賜りました東京大学生産技術研究所の吉識晴夫教授に心よりお礼を申し上げます。また，本論文のご審査をいただき，数々の有益なご指導，ご助言をいただきました東京大学生産技術研究所の小林敏雄教授，東京大学大学院工学系研究科の荒川忠一教授，東京大学生産技術研究所の谷口伸行助教授，加藤千幸助教授に，深く感謝いたします。

本研究は，産業技術総合研究所の多くの方々のご支援により実施することができました。本研究の着手と遂行にあたり，ご支援をいただきました機械システム研究部門の筒井康賢部門長，エネルギー利用研究部門ターボマシン研究グループの吉田博夫グループ長，阿部裕幸主任研究員に深く感謝の意を表します。本研究にご協力をいただき励ましの言葉を掛けて下さったエネルギー利用研究部門ターボマシン研究グループと旧機械技術研究所エネルギー部流体工学研究室の皆様我心から感謝いたします。

最後に，生活面で多大な支援をしてくれた妻委子と両親に深く感謝します。