目　次

はじめに ……VI

I　基礎編 ……1

1.1　流体力学の基礎式 ……1

1.1.1　運動の基礎式 ……1

1.1.2　運動量の法則 ……4

1.1.3　うず流れ ……7

1.1.4　粘性流れ ……9

1.1.5　相似の法則 …… 11

1.2　管内流れ …… 13

1.2.1　管内の速度分布 …… 13

1.2.2　流体抵抗 …… 16

1.2.3　各種管における圧力損失 … 22

1.3　絶縁問題 …… 27

1.3.1　実験の目的と実験装置 …… 28

1.3.2　実験結果とその考察 …… 31

1.4　流体信号の発生 …… 34

1.4.1　背圧式 …… 35

1.4.2　貫流式 …… 39

1.4.3　反射式 …… 40

1.4.4　干渉式 …… 41

1.4.5　発振周波数による検出 …… 43

1.4.6　電気信号のによる検出 …… 43

1.5　流体信号の伝達 …… 44

1.5.1　レジスタンス R, イナータンス L, キャパシタンス C … 45

1.5.2　太さ一様な管路の空気圧信号の伝達 …… 48

1.5.3　管路終端に負荷がある場合の空気圧伝達特性 …… 54

1.5.4　断面積が不連続に変化する管路の空気圧信号の伝達 …… 56

1.6　論理回路設計の基礎 …… 59

II　噴流編 …… 72

2.1　自由噴流 …… 72

2.1.1　基礎的関係 …… 73

2.1.2　非圧縮性二次元乱流噴流 … 75

2.1.3　非圧縮性二次元乱流噴流モデル …… 78

2.1.4　非圧縮性三次元乱流噴流 … 87

2.1.5　圧縮性二次元乱流噴流 …… 89

2.2　付着噴流 …… 95

2.2.1　噴流の付着と切換 …… 95

2.2.2　付着機構の解析 …… 97

2.2.3　仮　定 …… 99

2.2.4　付着点モデルと検査面モデル ……100

2.2.5　Bourque & Newman から Sher までの解析 ……103

2.2.6　Perry による検査面モデルの改良 ……108

2.2.7　ポテンシャルコアの考慮 …110

2.2.8　非対称速度分布をもつ噴流モデル ……113

2.2.9　圧縮性流体の場合 ……117

2.3　噴流のノイズ ……125

2.3.1　噴流の音響出力 ……125

2.3.2　流体増幅素子における噴流と騒音 ……129

2.3.3　設計上の問題点 ……133

2.3.4　まとめ ……137

III　アナログ編 ……139

3.1　噴流偏向形増幅素子 ……139

3.1.1　基本構成と動作原理 ……139

3.1.2　静特性 ……141

3.1.3 ゲイン解析……159
3.1.4 噴流偏向体増幅素子の設計……163
3.2 噴流偏向形増幅素子の結合問題……170
3.2.1 図式解法……170
3.2.2 解析的手法……174
3.2.3 流体増幅素子の多段結合における各段の増幅特性におよぼす各種パラメータの影響…177
3.3 噴流偏向形増幅素子の動特性……183
3.3.1 制御部の動特性……184
3.3.2 噴流部の動特性……186
3.3.3 出力部の動特性……187
3.3.4 綜合特性……189
3.3.5 付記・絞りにおける非圧縮性流体の圧力伝達特性……191
3.4 衝突形素子……192
3.4.1 基 礎……193
3.4.2 SIM……196
3.4.3 TIM……197
3.4.4 DIM……201
3.4.5 BIM……203
3.4.6 TIMF……204
IV ディジタル編……205
4.1 フリップ・フロップ……206
4.1.1 フリップ・フロップの動作……207
4.1.2 スプリッタの位置……210
4.1.3 スプリッタの形状……214
4.1.4 噴流の流体と周囲……216
4.2 フリップ・フロップの出力特性……217
4.2.1 回復圧力と素子形状との関係……218
4.2.2 ベント付き素子の出力特性……220
4.2.3 実際の出力特性……220
4.2.4 ベントの形状と出力回復圧力……223
4.3 フリップ・フロップの入力特性と切換……226
4.3.1 入力静特性……226
4.3.2 切換圧力，切換流量と素子形状……228
4.3.3 制御ノズルの抵抗……229
4.3.4 出力特性と次段入力特性との組合わせ……232
4.3.5 二安定素子の動特性……234
4.4 論理素子……236
4.4.1 NOT 素子……236
4.4.2 OR, NOR 素子……238
4.4.3 AND 素子および Exclusive OR 素子……241
V 応用編……245
5.1 アナログ演算回路……246
5.1.1 アナログ演算回路に用いられる受動要素……246
5.1.2 演算増幅器……249
5.1.3 衝突形流体増幅素子を用いた演算増幅器……253
5.1.4 演算回路……254
5.1.5 流体式アナログ計算機……261
5.2 A～D 変換……266
5.2.1 A～D 変換器……266
5.2.2 回転方向弁別回路……270
5.2.3 可逆カウンタ……274
5.2.4 D～A 変換器……280
5.3 回転速度の検出……283

5.3.1 信号円板を用いる方法……284
5.3.2 うず流による角速度検出…291
5.3.3 回転による境界層効果を用いる方法……296
5.4 論理回路設計……297
5.4.1 二進十進変換回路……297
5.4.2 半加算回路……303
5.4.3 加算回路……304
5.4.4 減算回路……305
5.4.5 クロックパルス発生器……307
5.4.6 シフトレジスタ……308
5.4.7 コンパレータ……311
5.4.8 論理回路設計上の問題点…312
5.5 カウンタ……314
5.5.1 リングカウンタ……314
5.5.2 ワレン形カウンタ……315
5.5.3 フィードバック形カウンタ……316
5.5.4 複フィードバック形カウンタ……317
5.5.5 アンドゲートカウンタおよびパルス整形回路……318
5.5.6 遅延要素を使わないカウンタ……319
5.5.7 二進カウンタの空気-電気アナロジによる計算……320
5.6 発振回路……323
5.6.1 噴流による発振……323
5.6.2 側壁付着形二安定素子による発振……327
5.7 変調と復調……341
VI 実験技術編……352
6.1 ハイドロリック・アナロジ……352
6.1.1 ハイドロリック・アナロジの基礎……352
6.1.2 ハイドロリック・アナロジの限界……354
6.1.3 装置および測定法……358
6.1.4 代表的な実験例……360
6.1.5 ハイドロリック・アナロジの評価……362
6.2 流れの観察法……363
6.2.1 可視化の意義……363
6.2.2 静止法……363
6.2.3 注入法……365
6.2.4 化学反応法……368
6.2.5 水素気ほう法……370
6.2.6 光学的方法……372
索 引……379