

## ピアノ弦振動の2次元計測による解析

著者	田中 秀幸
著者別名	Tanaka Hideyuki
内容記述	筑波大学博士（工学）学位論文・平成12年3月24日授与（甲第2362号）
発行年	2000
その他のタイトル	ピアノ弦振動の2次元計測による解析
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/6289">http://hdl.handle.net/2241/6289</a>

ピアノ弦振動の2次元計測による解析

工学研究科  
筑波大学

2000年 3月

田中秀幸

寄贈  
田中秀幸氏

# 目次

第1章 序論 .....	5
第2章 ピアノ弦振動の理論 .....	7
2.1 ピアノ音の解析 .....	7
2.2 ピアノ弦振動の解析 .....	7
2.3 物理モデル .....	9
2.4 本論文について .....	10
第3章 ピアノ弦2次元振動の測定方法 .....	11
3.1 測定原理について .....	11
3.2 測定装置について .....	12
3.3 測定装置の信頼性 .....	14
3.3.1 測定装置の線形性 .....	14
3.3.2 測定装置の周波数特性 .....	16
3.3.3 測定装置の再現性 .....	17
3.3.4 弦の振幅の測定 .....	20
第4章 ピアノ弦の振動 .....	21
4.1 データの取得 .....	21
4.2 ブリッジによって励起された振動について .....	26
4.3 振動周波数 .....	29
4.3.1 回転方向の入れ替わりの原因について .....	29
4.3.2 響板に垂直な振動の振動周波数が低くなる原因について .....	37
4.3.3 弦振動の振幅とブリッジの動き .....	44
4.3.4 響板に垂直な弦振動における固有周波数変化の振幅依存性 .....	47
4.4 弦振動とピアノ音の減衰特性について .....	49
4.5 単弦と複弦の減衰特性について .....	56

4.6 ピアノ弦振動とブリッジの振動について .....	59
第5章 まとめ .....	66
謝辞 .....	67
参考文献 .....	68
著者文献 .....	70
Appendix1 音名について .....	72
Appendix2 ブリッジの変位の導出 .....	73

# 目次

## 第2章 ピアノ弦振動の理論

Fig.2-1: ピアノの構造 .....	8
Fig.2-2: ピアノ弦の種類 .....	8

## 第3章 ピアノ弦2次元振動の測定方法

Fig.3-1: 測定原理 .....	11
Fig.3-2: 測定装置 .....	12
Fig.3-3: 測定装置 (写真) .....	13
Fig.3-4: 線形性の測定実験方法 .....	14
Fig.3-5: 測定装置の変位 - 出力電圧特性 .....	15
Fig.3-6: 測定系の周波数特性 .....	16
Fig.3-7: 打鍵装置 .....	17
Fig.3-8: F#1 の振動 (1回目) .....	18
Fig.3-9: F#1 の振動 (2回目) .....	19
Fig.3-10: 校正装置 .....	20

## 第4章 ピアノ弦の振動

Fig.4-1: 測定に用いたピアノ .....	21
Fig.4-2: 測定に用いたマイクの設置位置 .....	22
Fig.4-3: E1 のピアノ音 .....	23
Fig.4-4: E1 の響板に垂直な弦振動 .....	23
Fig.4-5: E1 の響板に平行な弦振動 .....	24
Fig.4-6: E1 のリサージュ図 .....	25
Fig.4-7: 実験方法 .....	26
Fig.4-8: 測定結果 .....	28
Fig.4-9: E1 のリサージュ図 (回転方向が入れ替わる部分) .....	29
Fig.4-10: E1 のリサージュ図 (基本周波数) .....	30
Fig.4-11: E1 の基音付近のスペクトル .....	31
Fig.4-12: E1 の響板に垂直な振動と水平な振動の初期位相差 .....	32
Fig.4-13: E1 のシミュレーションでのリサージュ図 .....	33
Fig.4-14: D#1 の基音付近のスペクトル .....	34
Fig.4-15: D#1 のリサージュ図 (基本周波数) .....	35

Fig.4-16: D#1 のシミュレーションでのリサージュ図 .....	36
Fig.4-17: C2 の響板に垂直な振動 .....	38
Fig.4-18: 実験の原理 .....	39
Fig.4-19: C2 の響板に垂直な振動の基本周波数付近のスペクトル .....	40
(余韻、打音すべてを含む)	
Fig.4-20: C2 の響板に垂直な振動の基本周波数付近のスペクトル .....	41
(右弦、余韻・打音別)	
Fig.4-21: C2 の響板に垂直な振動の基本周波数付近のスペクトル .....	42
(左弦、余韻・打音別)	
Fig.4-21: C2 の響板に水平な振動の基本周波数付近のスペクトル .....	43
(右弦・左弦、余韻・打音別)	
Fig.4-22: E1 の響板に垂直な振動 (変位の単位は mm) .....	45
Fig.4-23: E1 の響板に水平な振動 (変位の単位は mm) .....	45
Fig.4-24: 実験で求める値 .....	46
Fig.4-25: E1 の響板に垂直な振動 .....	47
Fig.4-26: E1 の響板に垂直な振動のスペクトル .....	48
(基音付近)	
Fig.4-27: ピアノ音の対数振幅レベル .....	50,51
Fig.4-28: 響板に垂直な振動の対数振幅レベル .....	52,53
Fig.4-29: 響板に水平な振動の対数振幅レベル .....	54,55
Fig.4-30: E2 の振動 (2本弦) .....	57
Fig.4-31: E2 の振動 (2本弦の一方を振動しないよう止めて1本弦にしたもの) .....	58
Fig.4-32: ストレインゲージを用いた実験方法 .....	60
Fig.4-33: E1 の振動 .....	61
(響板に垂直な弦振動、響板に水平な弦振動、ブリッジの振動)	
Fig.4-34: E1 の振動 (打鍵直後) .....	62
Fig.4-35: 先行波の説明 .....	63
Fig.4-36: E1 のピアノ音 .....	63
(打弦直後)	
Fig.4-37: E1 の響板に垂直な振動 (振幅: 対数) .....	65
Fig.4-38: E1 のブリッジの振動 (振幅: 対数) .....	65
 Appendix	
Fig.A: 音名の付け方 .....	72
Fig.B: オクターブの表わし方 .....	72
Fig.C: ブリッジの変位 .....	73