

ホルター心電図に基づく心電図T波オルタナ ンス検出手法の提案

関, 亮太 / SEKI, Ryota

(発行年 / Year)

2013-03-24

(学位授与年月日 / Date of Granted)

2013-03-24

(学位名 / Degree Name)

修士(工学)

(学位授与機関 / Degree Grantor)

法政大学 (Hosei University)

P397.5

M34

2012-39

2012年度 修士論文

ホルター心電図に基づく
心電図T波オルタナンス検出手法の提案

指導教授 八名和夫 教授 

法政大学大学院工学研究科
情報電子工学専攻修士課程

セキ リョウタ

11R4138 関 亮太



Abstract

This Paper propose a novel method for detecting T-wave alternans(TWA) based on 3-channel Holter ECG data. The method is intended to be the core of realizing an accurate and efficient TWA detection system based on the data acquired under non-controlled common daily activity. The proposing method examines the change in T-wave morphology based on singular value decomposition(SVD). By way of comparison, Pattern of SVD to all T-wave and a T-wave. Create a character space and character series which to evaluate the usefulness. The method has been applied to 20 normal subjects and 24 subjects with TWA to confirm its validity. The method will be a useful tool to extract an extra important diagnostic index from the popular Holter ECG recording.

目次

序論	3
第1章 特異値分解	4
1.1 特異値分解	4
第2章 T波検出手法	7
2.1 T波検出手順	7
第3章 解析手法	11
3.1 特徴空間	11
3.2 特徴系列	12
第4章 ペリオドグラムによる <i>TWA</i> 評価方法	13
4.1 オルタナンス率	13
第5章 使用データ	15
5.1 使用データの詳細	15
第6章 結果	16
6.1 特徴空間の結果比較	16
6.2 特徴系列の結果比較	48
第7章 考察	80
7.1 特徴空間	80
7.2 特徴系列	82
結論	83
謝辞	84
参考文献	85

序論

本稿では3誘導ホルター心電計により計測した被験者データを用いて、特異値分解によるT波オルタナンスの検出手法の精度比較を行う。

現在、心臓突然死 (*Sudden Cardiac Death* : *SCD*) が世界中で問題となっており、その数は世界全体で年間約100万人、日本では年間約6万人、米国では年間約40万人もの被害が出ている。また、突然死の原因とされる心臓疾患は死亡原因の上位を占めている。そしてこれからも高齢化の影響でさらに増加すると予測されている。そのため、心臓の危険を予測することは臨床学的に重要であり、今後の課題とされている。もし心臓の突然死のリスクが評価出来れば、心臓に植込み型除細動器 (*Implantable Cardio Defibrillator* : *ICD*) を適用することで延命が可能である。そこで本稿では、*SCD* を事前に予測可能とする現象の一つであるT波オルタナンス (*T-Wave Alternans* : *TWA*) に焦点を当てる。*TWA*とは心室再分極過程を反映する心電図上のT波の形状が一拍ごとに *ABAB...* と交互変化する現象のことである。[1] その変化は心臓疾患の種類により振幅、形状、時に極性反転など存在する。[2] また、*TWA* は μV レベルの変化であり、肉眼で確認することは非常に困難である。[2][3] しかしながら従来の *TWA* の研究では、薬物、心房ペースング、あるいは検査室での運動負荷によって心拍数を上昇させることで *TWA* を行ってきたが、いずれも、患者の心臓への負担が非常に重い方法であった。そこで本稿では、自然生活環境下で計測したホルター心電図を使用することで非侵襲的に *TWA* 検出を行う。

また、心電図のT波全体の特徴を捉えるため、信号処理技法の主成分分析の方法として知られる特異値分解 (*Single Value Decomposition* : *SVD*) を用いて *TWA* 検出を行う。本稿ではこれをT波ベクトルオルタナンス (*T-Wave Vector Alternans* : *TWVA*) と称して提案する。*SVD* は対象となる心電図のデータからT波全てを検出して、一括に行う方法と、T波の特徴を損失することなく応用するため、一拍ごとのT波で行う方法の2通りで施す。またペリオドグラムを用いた解析方法としてオルタナンス率 (*Alternans Ratio* : *AR*) という *TWA* 評価式が存在する。[4] この式を利用して、*TWA* 検出指標とすることで健常者群と心疾患患者群の有意差をみる。

第1章 特異値分解

1.1 特異値分解

本稿の焦点である特異値分解 (*Singular Value Decomposition* : *SVD*) とは、信号処理技法の一つであり多変量解析及び主成分分析の技法である。以下の (1.1) 式のように、任意の長方形行列 X に対して、互いに相関のない3つの行列に分解する手法である。

$$X = U\Sigma V^T \quad (1.1)$$

ここで、 U を左特異行列、 V を右特異行列という。 X が $m \times n$ 行列のとき、 V は $m \times m$ の正規直交ベクトルであり、行列 X を構成する要素のうち最も強い特徴を持つ成分順に左端から順に並ぶ。 U は $n \times n$ の正規直交ベクトルであり、行列 X を構成する特徴ベクトルという複数データの性質・パターンを数値的に示した成分が左端から順に並ぶ。また Σ は $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k, k = \min(m, n)$ を体対角要素に持ち、それ以外が0となる対角行列である。 σ を行列 X の特異値と呼び、 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_k$ である。また、特異値とは固有値の平方根に等しく、非負の値である。以下に具体的 *SVD* の例を示す。

$$\begin{bmatrix} \cdots & X_1 & \cdots \\ & \vdots & \\ \cdots & X_m & \cdots \\ & \vdots & \\ \cdots & X_M & \cdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1[1] & \cdots & U_M[1] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ U_1[m] & \cdots & U_M[m] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ U_1[M] & \cdots & U_M[M] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddots & & 0 \\ & \sigma_n & \\ 0 & & \ddots \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cdots & V_1[n] & \cdots \\ \cdots & \ddots & \cdots \\ \cdots & V_N[n] & \cdots \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

本稿では、3誘導ホルター心電計で観測したT波データを使用し、行列Xに格納してSVDを行う。ここで3誘導とは、体表面に3つの電極(X誘導, Y誘導, Z誘導)を使用することで同一時刻に心電図を3つ計測したものである。そのためXには同一時刻に観測した3誘導分のT波データを格納して使用することになる。本稿では、全拍のT波を一括にSVDする方法と、一拍ずつSVDする方法で用いる。全拍のT波を行列Xに格納する際は全T波の長さをN拍到統一し全拍格納して用いる。以下に全拍のT波を行列Xに格納した例を示す。

$$X = \begin{bmatrix} T_{x1}[1] & \cdots & T_{x1}[n] & \cdots & T_{x1}[N] \\ T_{y1}[1] & \cdots & T_{y1}[n] & \cdots & T_{y1}[N] \\ T_{z1}[1] & \cdots & T_{z1}[n] & \cdots & T_{z1}[N] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{xl}[1] & \cdots & T_{xl}[n] & \cdots & T_{xl}[N] \\ T_{yl}[1] & \cdots & T_{yl}[n] & \cdots & T_{yl}[N] \\ T_{zl}[1] & \cdots & T_{zl}[n] & \cdots & T_{zl}[N] \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{xL}[1] & \cdots & T_{xL}[n] & \cdots & T_{xL}[N] \\ T_{yL}[1] & \cdots & T_{yL}[n] & \cdots & T_{yL}[N] \\ T_{zL}[1] & \cdots & T_{zL}[n] & \cdots & T_{zL}[N] \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

この時, x, y, z はそれぞれ3誘導の中のX誘導, Y誘導, Z誘導を指す。Nは一拍のT波の長さであり, Lは拍数である。
次に一拍ずつT波を行列Xに格納した例を示す。

$$X = \begin{bmatrix} T_x[1] & \cdots & T_x[n] & \cdots & T_x[N] \\ T_y[1] & \cdots & T_y[n] & \cdots & T_y[N] \\ T_z[1] & \cdots & T_z[n] & \cdots & T_z[N] \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

この時, x, y, z はそれぞれ3誘導の中のX誘導, Y誘導, Z誘導を指す。Nは一拍のT波の長さである。また, T波を一拍ずつSVDするとき, Nの長さはそれぞれ異なる。

本稿では行列XをSVDして得られる行列U, Σ , Vのうち, 特徴ベクトルが得られるUを利用してTWA検出を行う. ここで, 以下に式(1.1)と式(1.2)のSVD後の行列Uの詳細をそれぞれ示す.

$$U = \begin{bmatrix} U_{x1}[1] & \cdots & U_{x1}[L * 3] \\ U_{y1}[1] & \cdots & U_{y1}[L * 3] \\ U_{z1}[1] & \cdots & U_{z1}[L * 3] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{xl}[1] & \cdots & U_{xl}[L * 3] \\ U_{yl}[1] & \cdots & U_{yl}[L * 3] \\ U_{zl}[1] & \cdots & U_{zl}[L * 3] \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{xL}[1] & \cdots & U_{xL}[L * 3] \\ U_{yL}[1] & \cdots & U_{yL}[L * 3] \\ U_{zL}[1] & \cdots & U_{zL}[L * 3] \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

$$U = \begin{bmatrix} U_x[1] & U_x[2] & U_x[3] \\ U_y[1] & U_y[2] & U_y[3] \\ U_z[1] & U_z[2] & U_z[3] \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

また, この両手法によって得られるUの特徴ベクトルは全てを使用せず, 意味のある成分を利用するため潜在意味解析 (*Latent Semantic Analysis*: LSA) を行う. これは次元の縮尺を行うことを意味する. 本稿では, 特異値分解によって得られる Σ の特異値のうち, 値の大きい方からk個に着目し, これに対応する行列Uの特徴ベクトルを用いる. ここで, 第3章以降で説明する特徴空間解析の時はk=2, 特徴系列解析の時はk=1とする. これは主成分分析による次元削減のアナロジーである.

第2章 T波検出手法

2.1 T波検出手順

特異値分解で用いる T 波を, 心電図データから一拍ごとに検出するための方法を以下の 1 ~ 5 の手順で行う.

1. R波の検出

心電図データの高周波をカットし, オリジナルと差分することで全体的に R 波を強調させる. その後, 最大ピーク値の 1/2 を閾値として, 閾値以上で極大値を求めることで R 波を検出する.

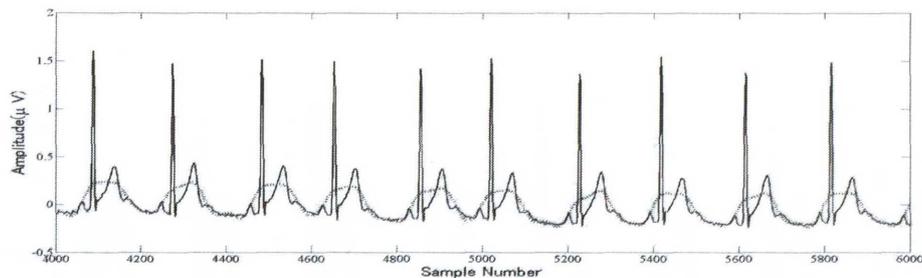


図 2.1: R波強調前 (心電図と高周波カットの心電図)

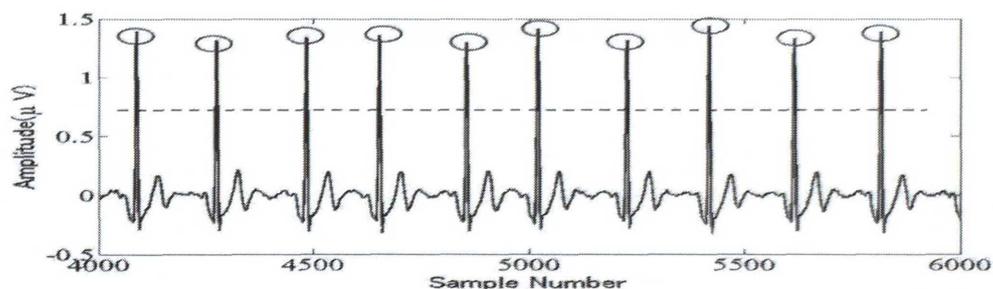


図 2.2: R波の強調波形

2. RRI の検出

1 で求めたある時点の R 波と次の時点の R 波で時間間隔の差分を取り, R 波と R 波の間隔 ($R - RInterval : RRI$) を求める.

3. 基線変動除去

全体的な心電図の低周波成分の歪み(アーチファクト)を取り除くためスプライン補間による基線変動除去を行う. スプライン曲線を通る基準点は各 RRI の中で $RRI*40$ の位置と $RRI*60$ の位置とする.

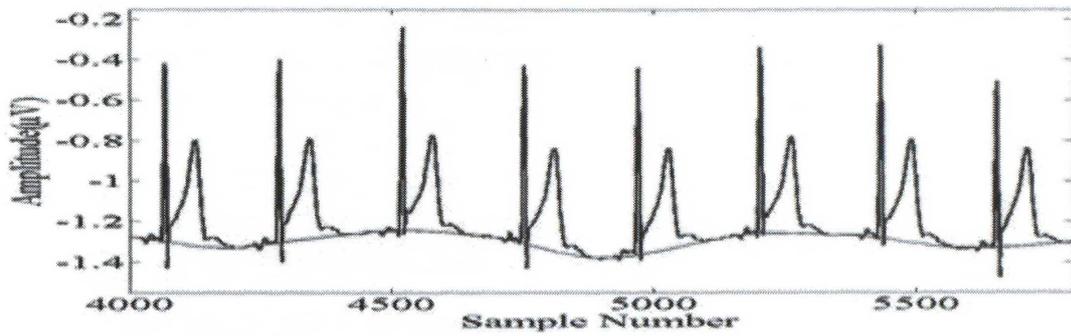


図 2.3: アーチファクト心電図とスプライン曲線

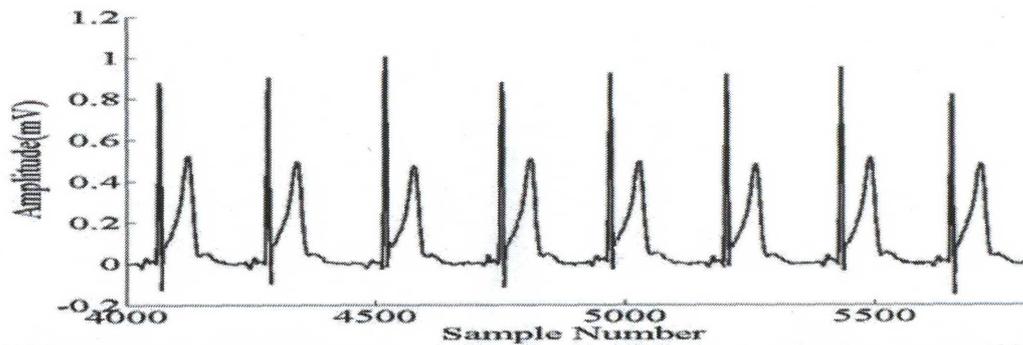


図 2.4: 基線変動除去後の心電図

4. T波始点の検出

T波の始点は *JX* 法を用いる。[5] R波頂点から 75[ms] 進んだ中の最小値を S波頂点とし、そこから 75[ms] 間の微分値の変曲点を J点とする。検出した J点を基準に、X [ms] 進んだ時点を T波の始点とする。ここで距離時刻 Xは以下のパターンに基づいて決定する。また、*HR* とは *HeartRate* の略であり、一分間の心拍数を示す。

$X =$

80ms : $HR \geq 100[\text{times}/\text{min}]$

72ms: $100 \geq HR \geq 110[\text{times}/\text{min}]$

64ms; $110 \geq HR \geq 120[\text{times}/\text{min}]$

60ms: $HR \leq 120[\text{times}/\text{min}]$

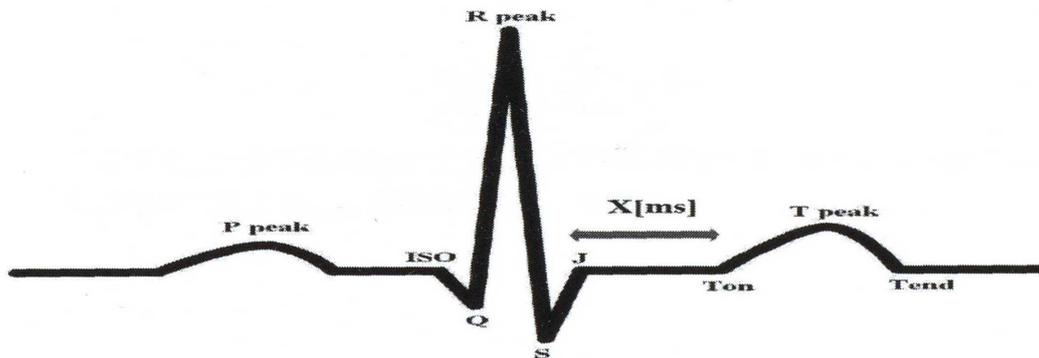


図 2.5: 心電図各部名所と距離時刻 X の位置

5. T波終点の検出

T波の終点は接線法を用いる。[6] R波の頂点に基づき、頂点から300(ms)間の中で最大値を求めることでT波の頂点を求める。次にT波頂点から500(ms)間で微分を行い、微分データの最大値を求める。その後 T_{pk} と微分最大点を通る直線と y 座標が0で交わる点と同一の位置をT波の終点とする。

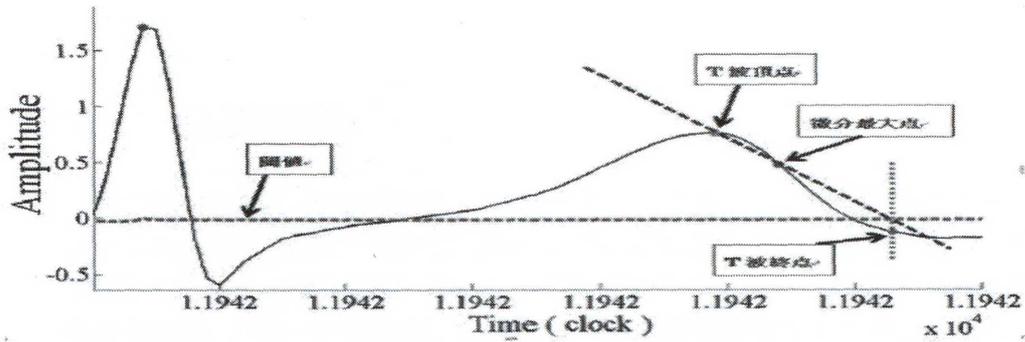


図 2.6: 接線法を用いたT波終点の検出方法

全拍のT波でSVDをする場合、T波の長さを統一する必要がある。そこで以下の式より、T波の平均長を算出する。

$$T_{length} = \frac{T_{all}}{T_{num}} \times 1.3 \quad (2.1)$$

ここで T_{all} は全T波の長さで、 T_{num} はT波の数である。各拍のT波終点から負の方向に長さ T_{length} を検出して統一化する。

第3章 解析手法

3.1 特徴空間

特徴空間とは、ある対象を n 次のベクトルで表し、 n 次元の空間にマッピングしたものである。一般的に画像工学などの分野で用いられており、多変量解析などを行う際に適している。特徴空間の次元が高ければ情報量の損失も少ないが、パターンの識別、分類処理の計算時間も増してくる。そのため必要な情報を失わずに次元を減らすことが重要になる。

本稿では SVD によって得られる行列 U の特徴ベクトルのうち、より対象のデータの特徴を意味する第一成分と第二成分を用いて特徴空間を作成する。

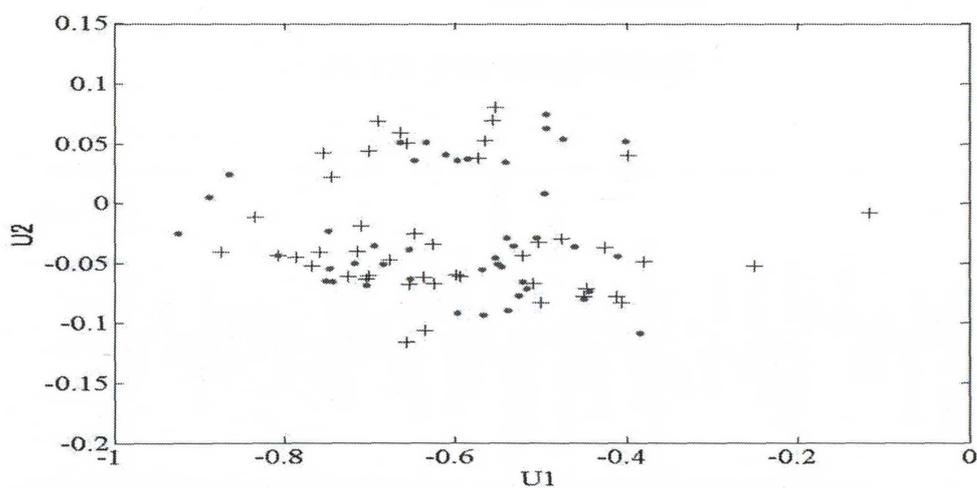


図 3.1: 特徴空間 (・ 偶数, + 奇数)

本稿ではこの特徴空間を用いて、原点からそれぞれの特徴点が成す角度を求めて系列化する。周波数分解によってペリオドグラムを作成し、 TWA の評価に用いる。具体的評価方法は、次章で述べる。

3.2 特徴系列

特徴系列とは, 対象行列を SVD することで得られる行列 U の第一成分にのみ着目する手法である. 各拍の第一成分を時系列化した特徴系列を作成し, この系列に対して周波数分解によってペリオドグラムを作成して TWA の評価を行う. 以下に健常者と心疾患患者の特徴系列例を示す.

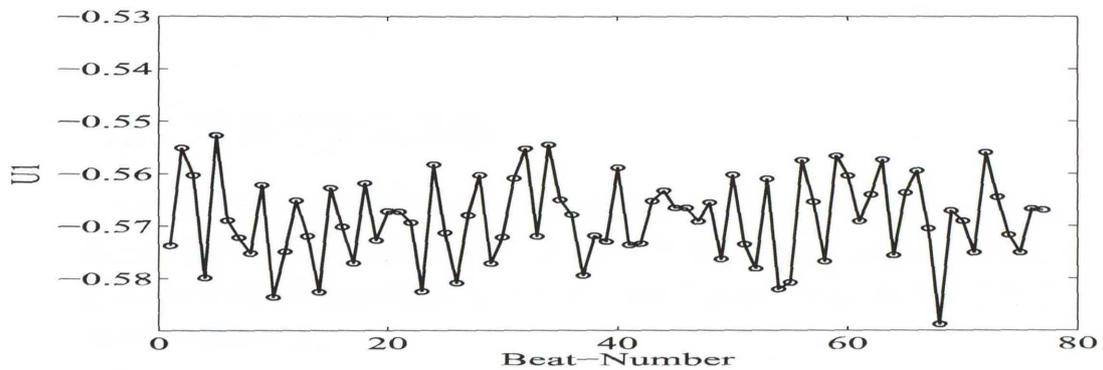


図 3.2: 特徴空間 (健常者例)

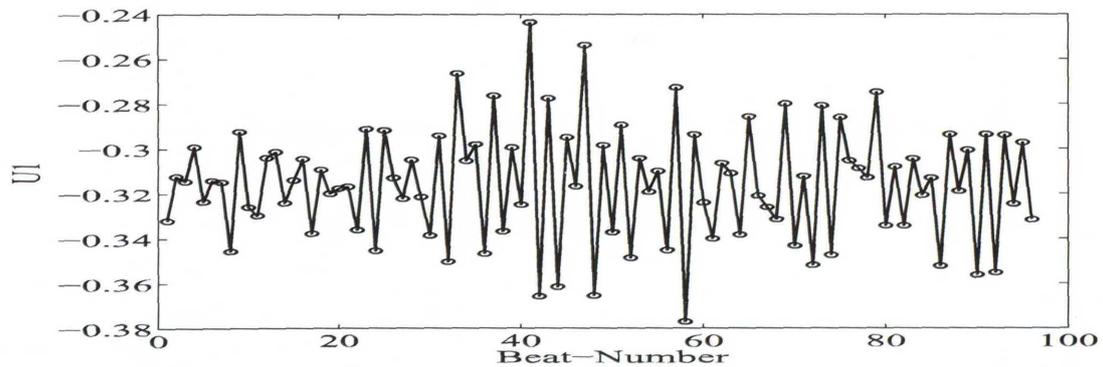


図 3.3: 特徴空間 (心疾患患者例)

このように心疾患患者の例では健常者例と比較して値が交互に変化する箇所が多くなる.

第4章 ペリオドグラムによる *TWA*評価方法

4.1 オルタナンス率

ペリオドグラムは周波数パワーを評価する手法である。TWAのように交互に変化するパターンが対象データに多く含まれる場合、0.5[cycle/beat]付近において他より強いピーク値を得ることができる。以下に正常者と異常者の例を示す。

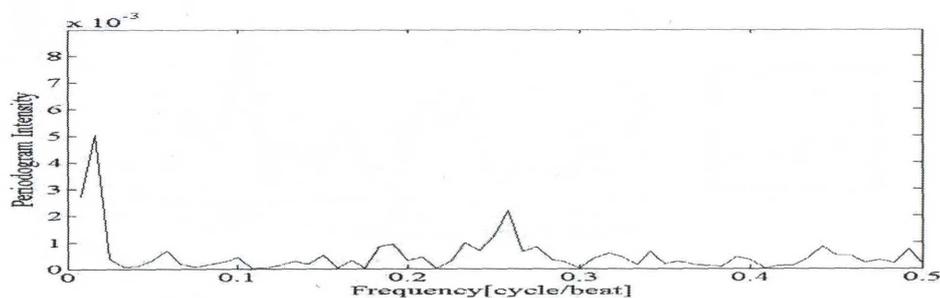


図 4.1: ペリオドグラム (正常例)

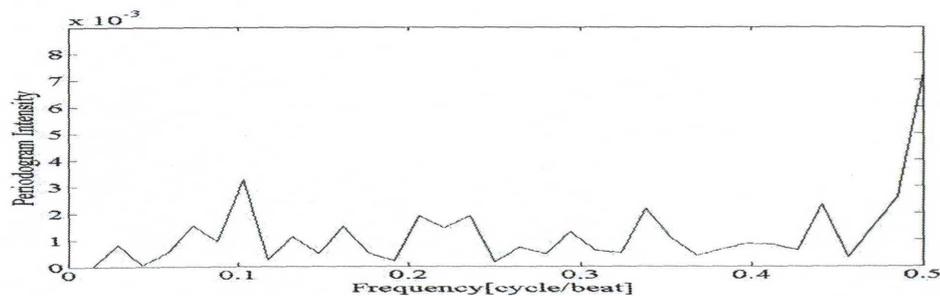


図 4.2: ペリオドグラム (異常例)

このペリオドグラムを用いて TWA を評価する場合, 単純に $0.5[\text{cycle/beat}]$ 付近の値では被験者によってピーク値に数十倍, 時に数百倍の差が生じ, 参考にすることが出来ない. そのため周囲のノイズ成分を考慮して, ペリオドグラムから以下のオルタナンス率 (*AlternansRatio*: AR) の計算式を立てて, TWA 検出における評価の指標とする. [4][6]

$$AR = \frac{\text{Alternans}_{peak} - \text{mean}(\text{noise})}{\text{std}(\text{noise})} \quad (4.1)$$

ここで, Alternans_{peak} は $0.47-0.5[\text{cycle/beat}]$ 間の最大値とする. また noise は $0.36-0.46[\text{cycle/beat}]$ 区間として, 平均値と標準偏差を計算する.

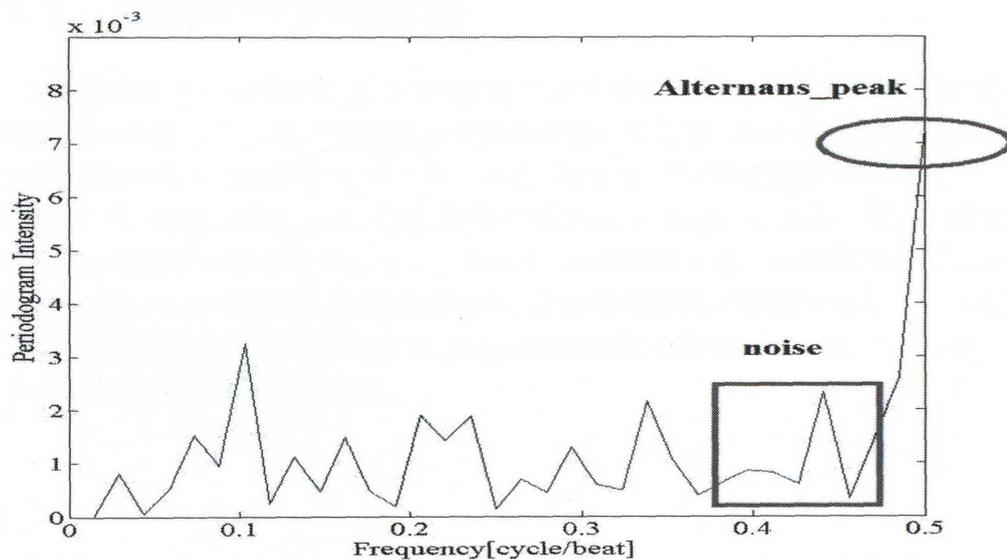


図 4.3: Alternans Ratio 例

第5章 使用データ

5.1 使用データの詳細

3誘導ホルター心電計により 200[Hz] サンプリングで計測した 24 時間の心電図データのうち, 90[s] を抽出して使用する. ここで, ホルター心電図とは, 日常生活環境下で計測したデータである. そしてデータの内訳は 3 パターン存在する. 健常者群 (*nml*), 心疾患患者群 (*low* と *high*) である. *NML* は健常な 20 代前半の学生を中心とし, 全部で 20 件使用する. 心疾患患者群は全部で 24 件, そのうち *low* は高血圧のみ, または良性の不整脈を有している低リスク被験者例で 15 件使用する. *high* は致死性不整脈を起こしている高リスク被験者例を 9 件使用する.

第6章 結果

6.1 特徴空間の結果比較

特徴空間によって得られるアングル値の系列と、そのペリオドグラムの結果を全拍で *SVD* するパターン (*TWVA-1*) と一拍で *SVD* するパターン (*TWVA-2*) 別に, *NML*, *LOW*, *HIGH* の順に表示する. また, 本稿では 3 誘導のうち最も *AR* が高い値をそのデータの評価対象としている. そのため, 以下で表示する結果は各データの代表値のみである.

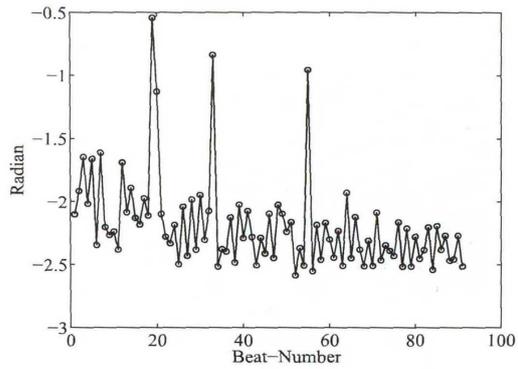


図 6.1: $NML01(TWVA - 1)$

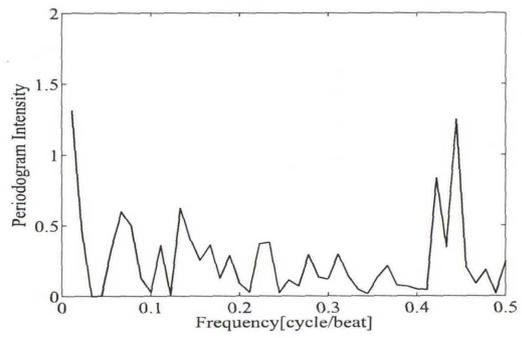


図 6.2: $NML01$ のペリオドグラム

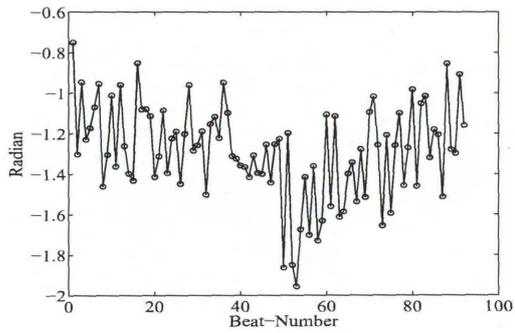


図 6.3: $NML02(TWVA - 1)$

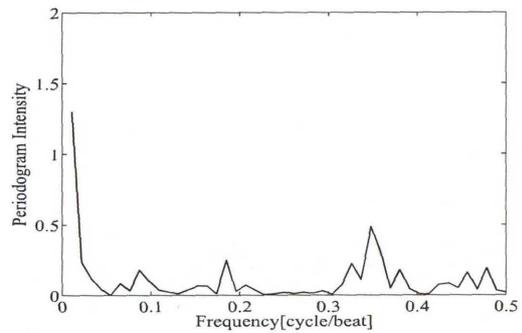


図 6.4: $NML02$ のペリオドグラム

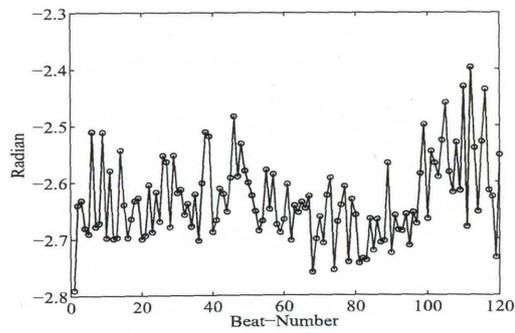


図 6.5: $NML03(TWVA - 1)$

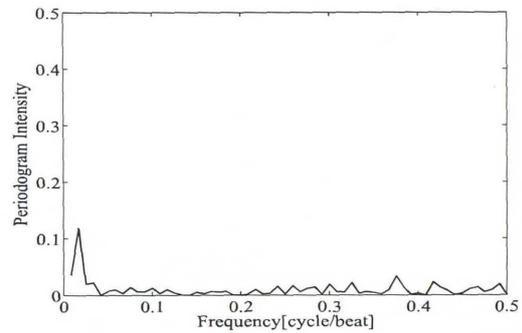


図 6.6: $NML03$ のペリオドグラム

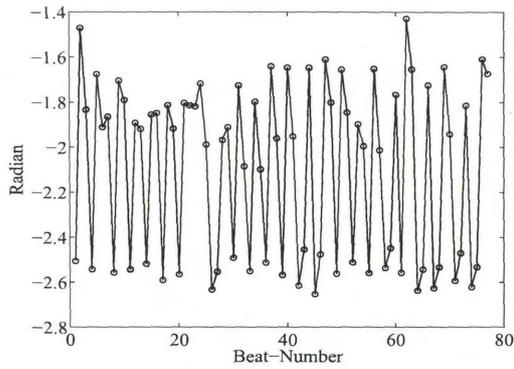


図 6.7: NML04(TWVA-1)

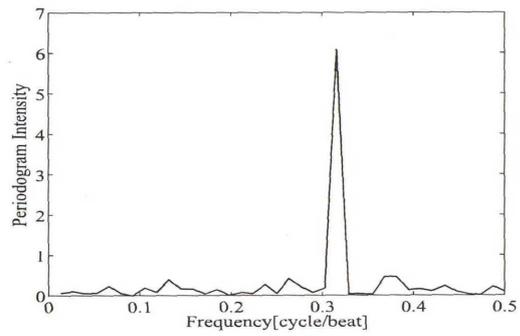


図 6.8: NML04のペリオドグラム

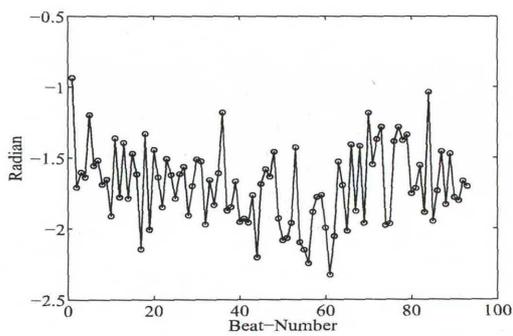


図 6.9: NML05(TWVA-1)

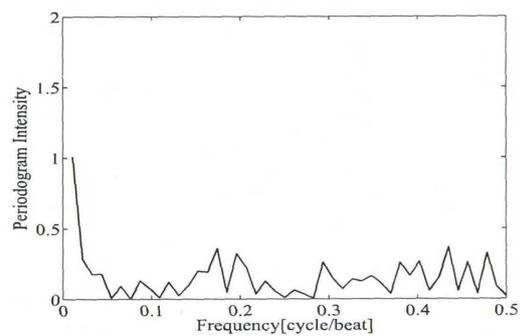


図 6.10: NML05のペリオドグラム

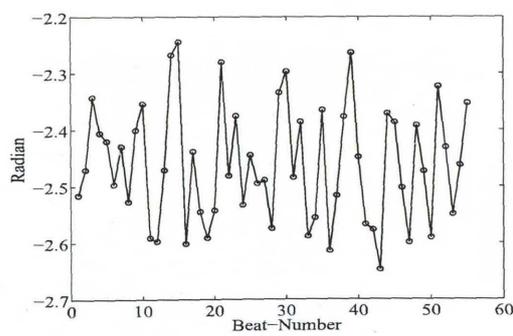


図 6.11: NML06(TWVA-1)

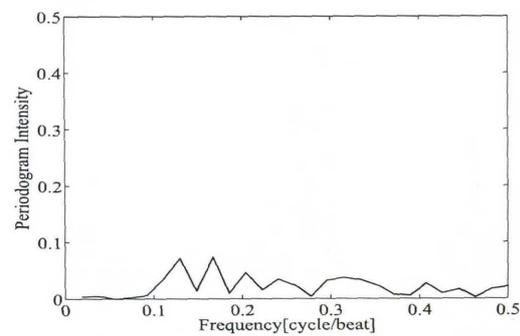


図 6.12: NML06のペリオドグラム

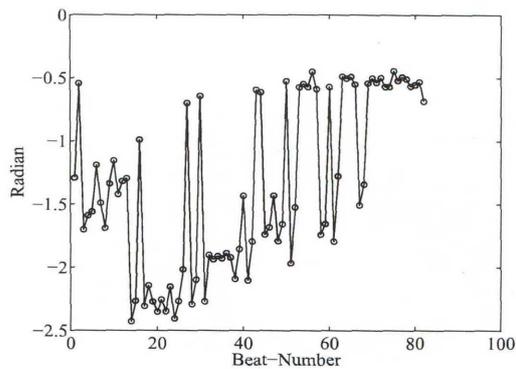


図 6.13: *NML07(TWVA - 1)*

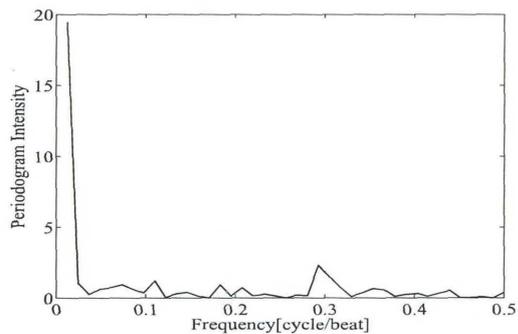


図 6.14: *NML07* のペリオドグラム

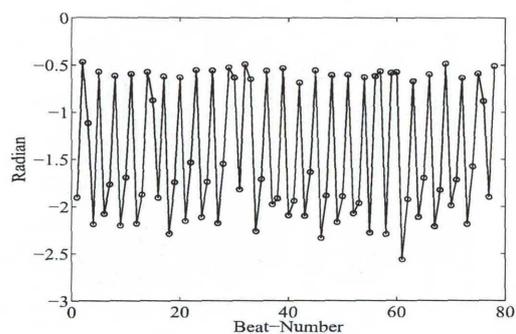


図 6.15: *NML08(TWVA - 1)*

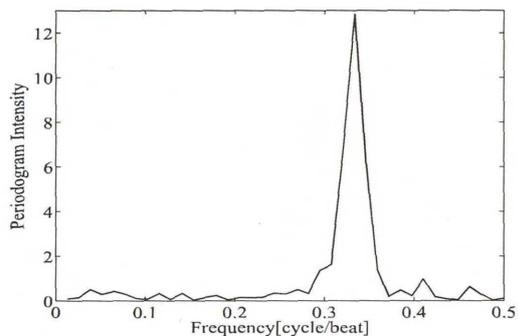


図 6.16: *NML08* のペリオドグラム

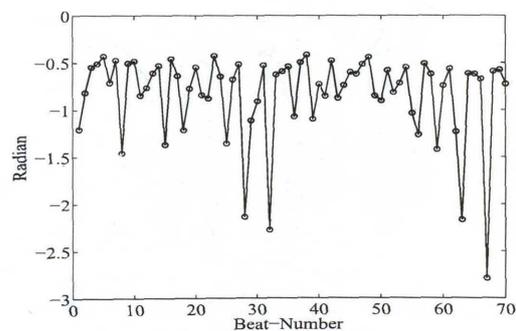


図 6.17: *NML09(TWVA - 1)*

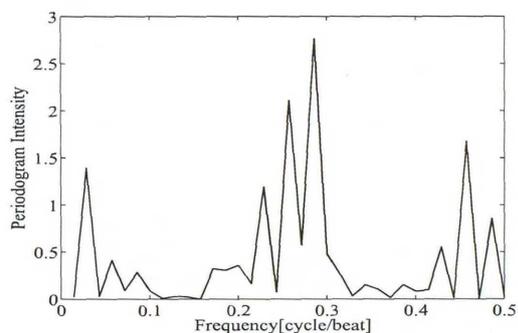


図 6.18: *NML09* のペリオドグラム

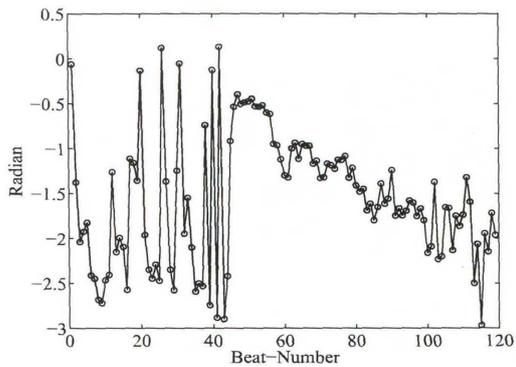


図 6.19: $NML10(TWVA - 1)$

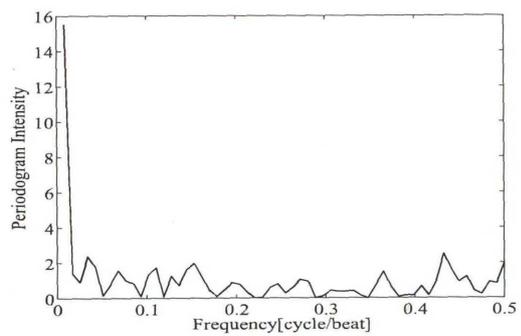


図 6.20: $NML10$ のペリオドグラム

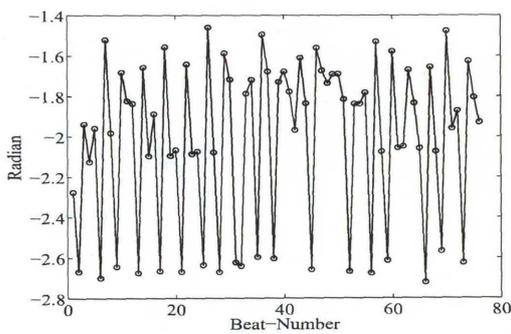


図 6.21: $NML11(TWVA - 1)$

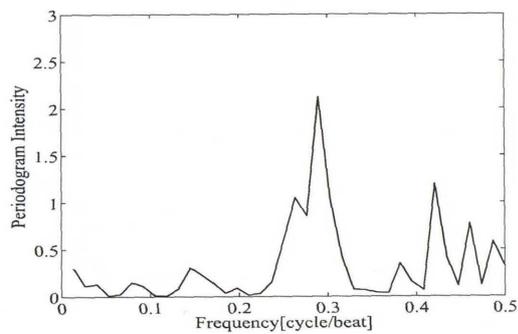


図 6.22: $NML11$ のペリオドグラム

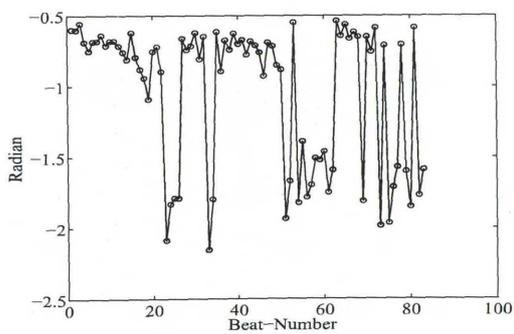


図 6.23: $NML12(TWVA - 1)$

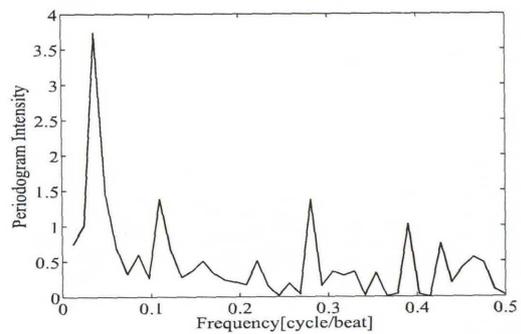


図 6.24: $NML12$ のペリオドグラム

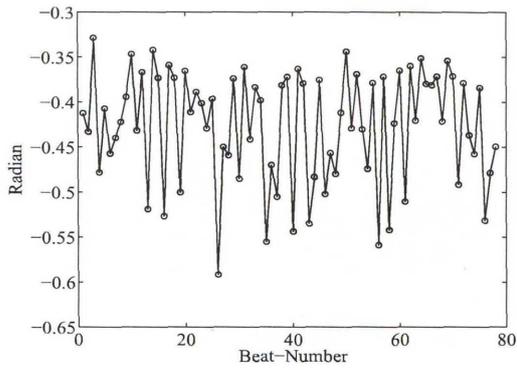


図 6.25: $NML13(TWVA - 1)$

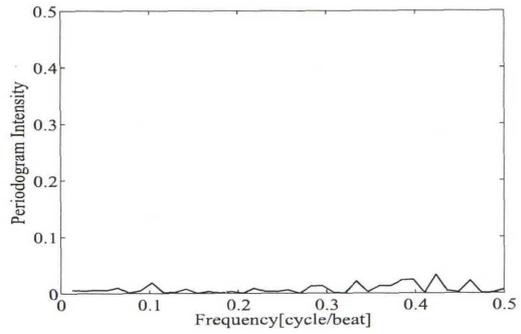


図 6.26: $NML13$ のペリオドグラム

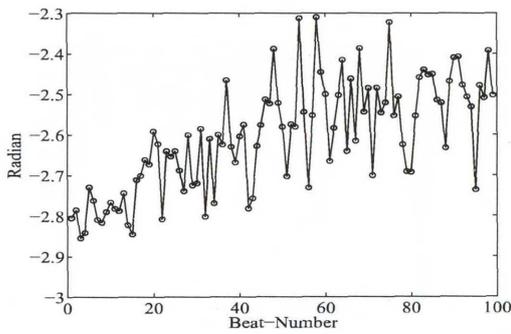


図 6.27: $NML14(TWVA - 1)$

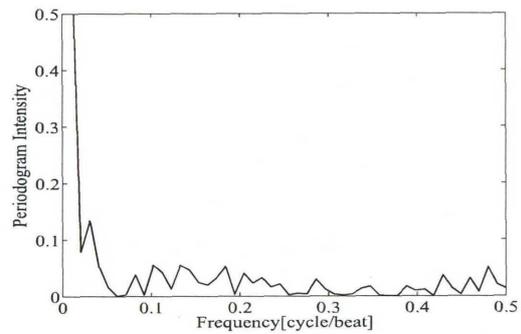


図 6.28: $NML14$ のペリオドグラム

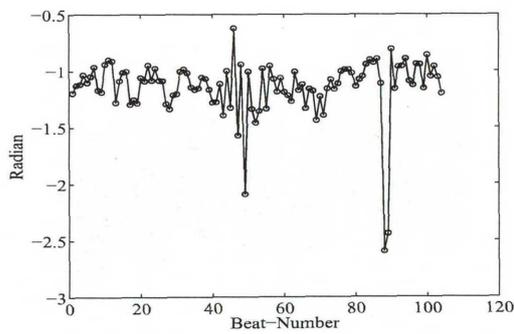


図 6.29: $NML15(TWVA - 1)$

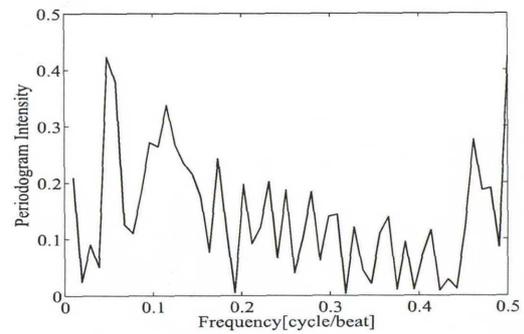


図 6.30: $NML15$ のペリオドグラム

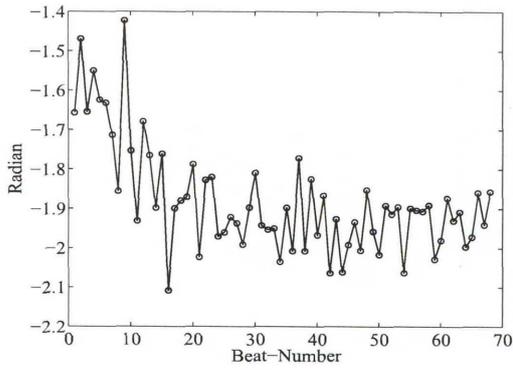


図 6.31: $NML16(TWVA - 1)$

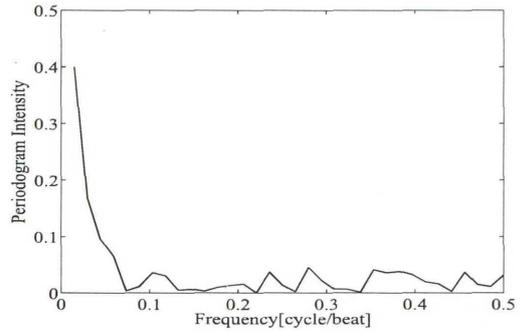


図 6.32: $NML16$ のペリオドグラム

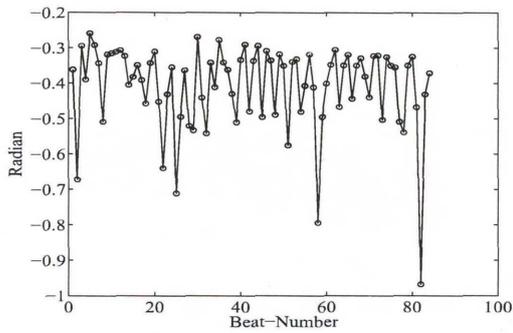


図 6.33: $NML17(TWVA - 1)$

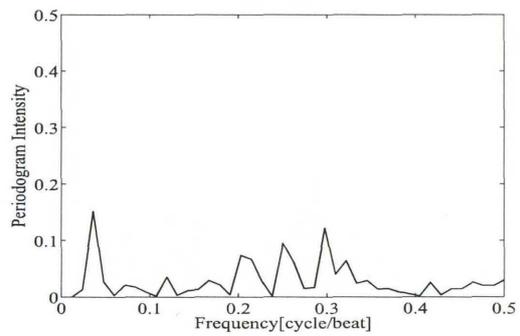


図 6.34: $NML17$ のペリオドグラム

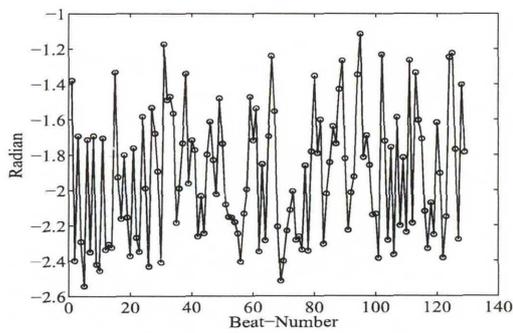


図 6.35: $NML18(TWVA - 1)$

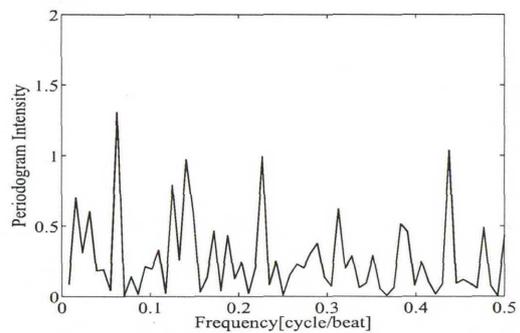


図 6.36: $NML18$ のペリオドグラム

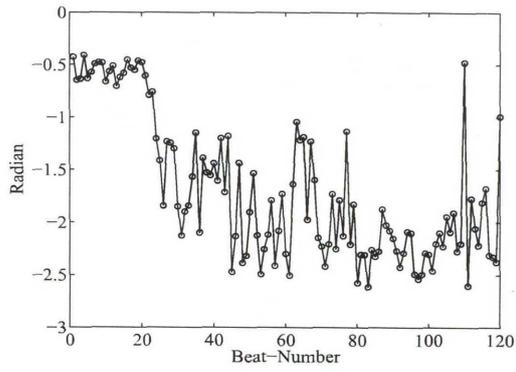


図 6.37: $NML19(TWVA-1)$

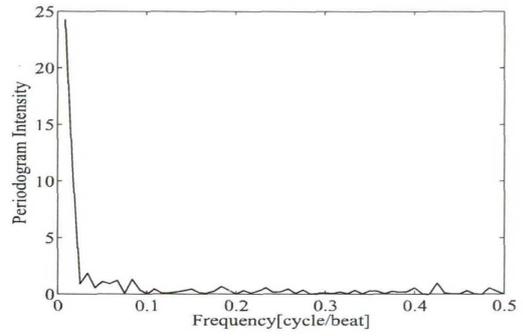


図 6.38: $NML19$ のペリオドグラム

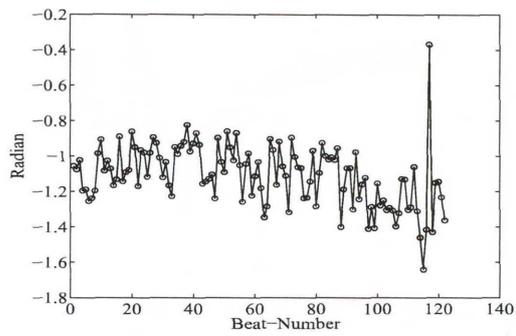


図 6.39: $NML20(TWVA-1)$

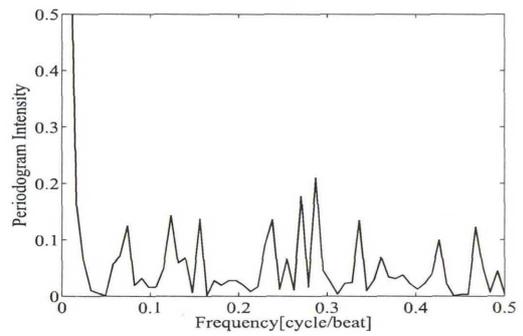


図 6.40: $NML20$ のペリオドグラム

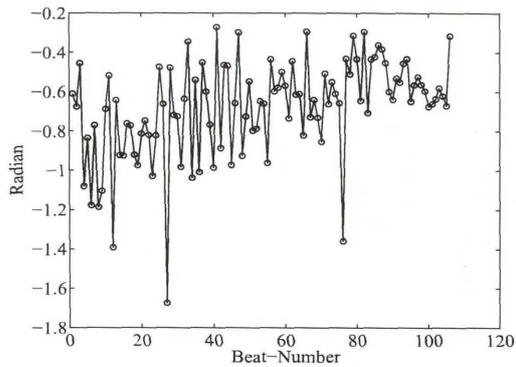


図 6.41: $LOW01(TWVA - 1)$

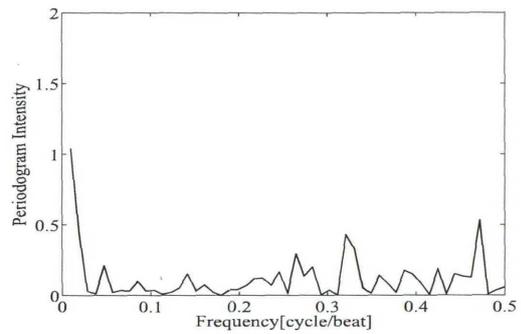


図 6.42: $LOW01$ のペリオドグラム

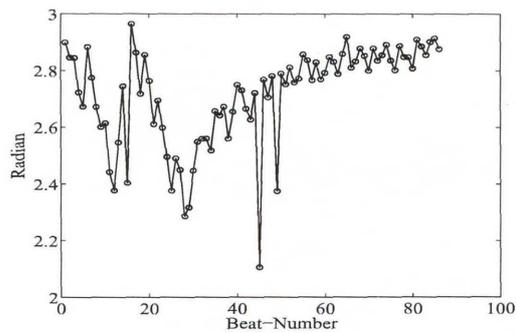


図 6.43: $LOW02(TWVA - 1)$

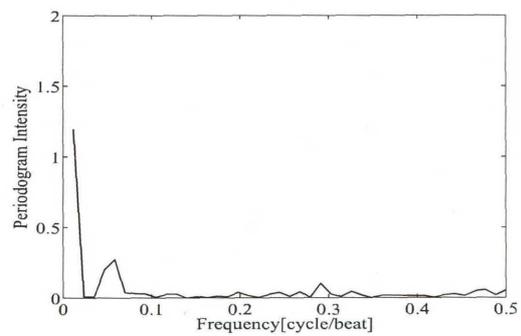


図 6.44: $LOW02$ のペリオドグラム

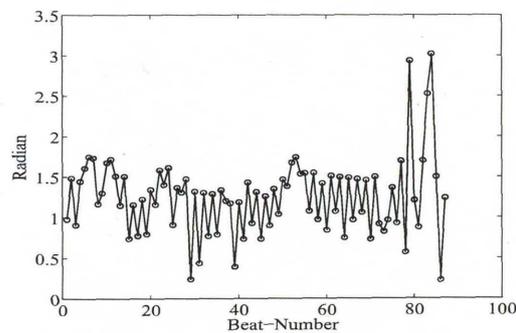


図 6.45: $LOW03(TWVA - 1)$

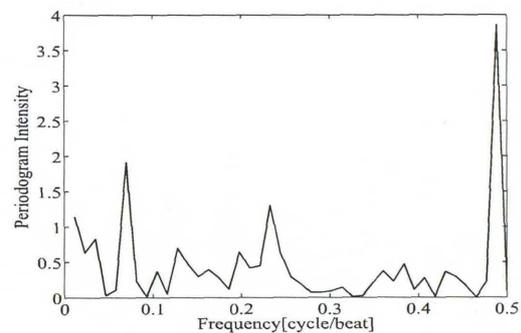


図 6.46: $LOW03$ のペリオドグラム

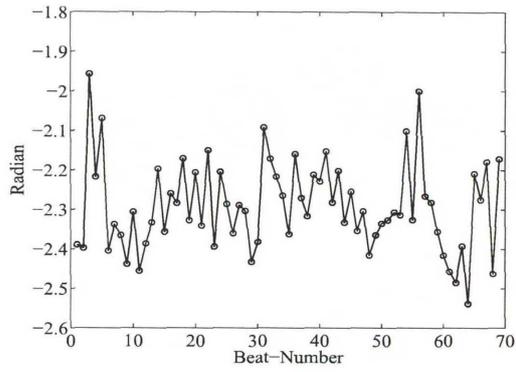


図 6.47: $LOW04(TWVA - 1)$

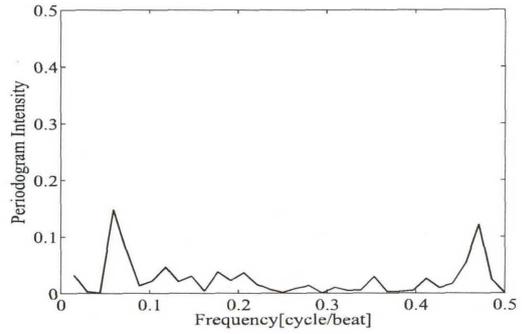


図 6.48: $LOW04$ のペリオドグラム

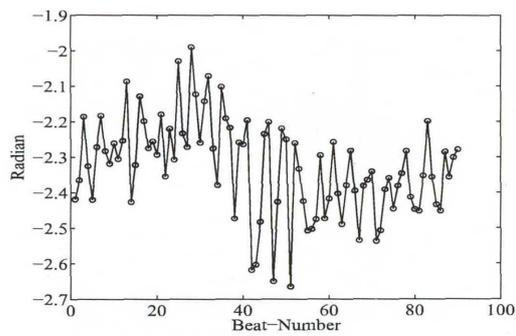


図 6.49: $LOW05(TWVA - 1)$

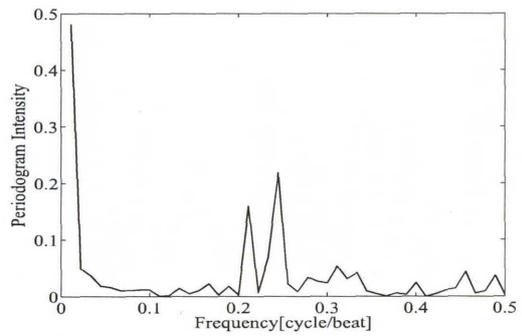


図 6.50: $LOW05$ のペリオドグラム

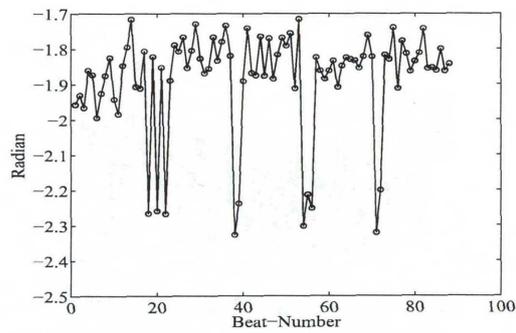


図 6.51: $LOW06(TWVA - 1)$

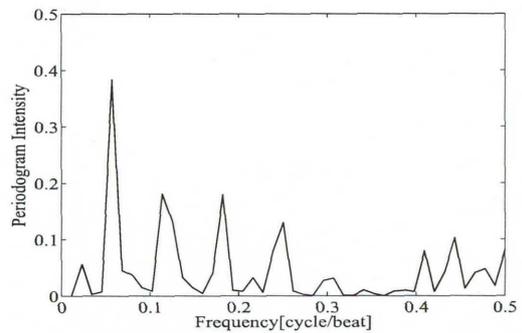


図 6.52: $LOW06$ のペリオドグラム

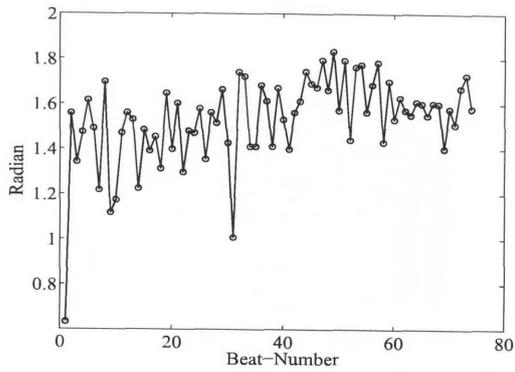


図 6.53: $LOW07(TWVA-1)$

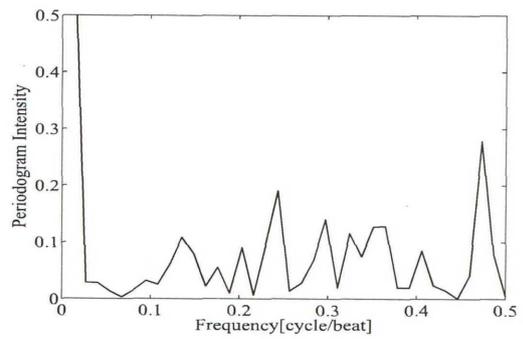


図 6.54: $LOW07$ のペリオドグラム

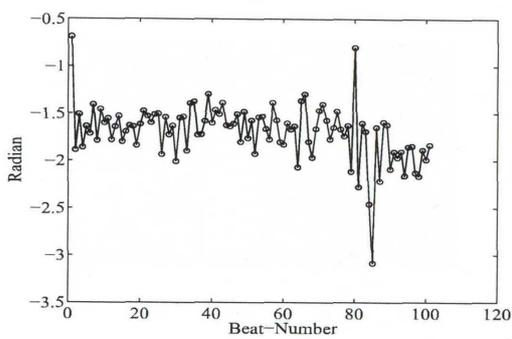


図 6.55: $LOW08(TWVA-1)$

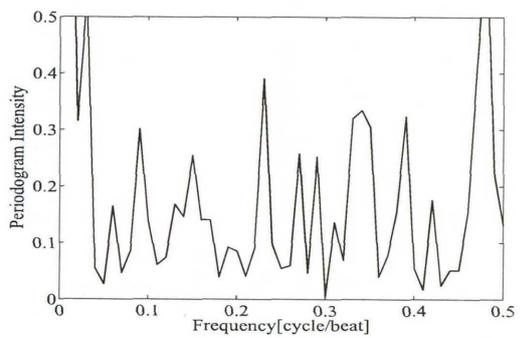


図 6.56: $LOW08$ のペリオドグラム

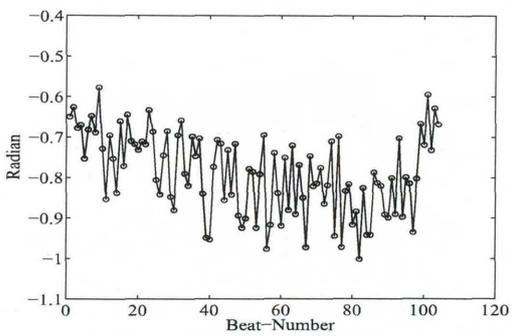


図 6.57: $LOW09(TWVA-1)$

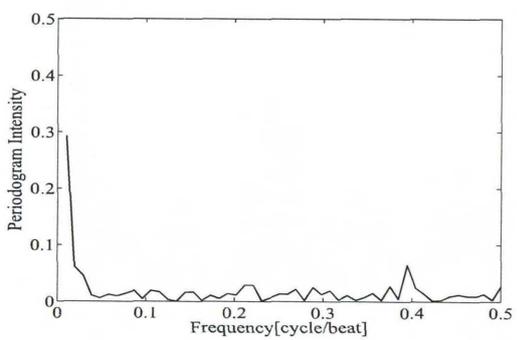


図 6.58: $LOW09$ のペリオドグラム

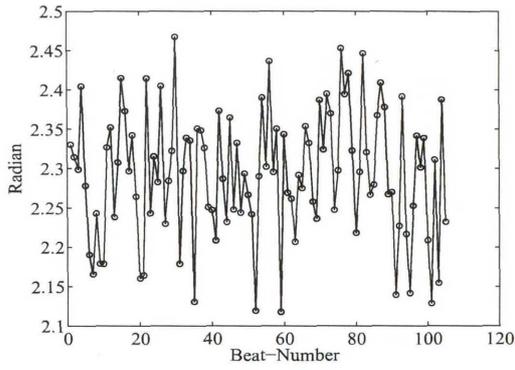


図 6.59: $LOW10(TWVA-1)$

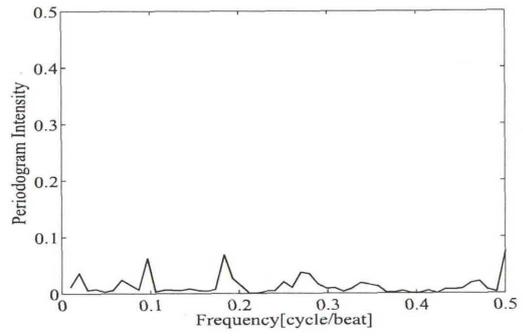


図 6.60: $LOW10$ のペリオドグラム

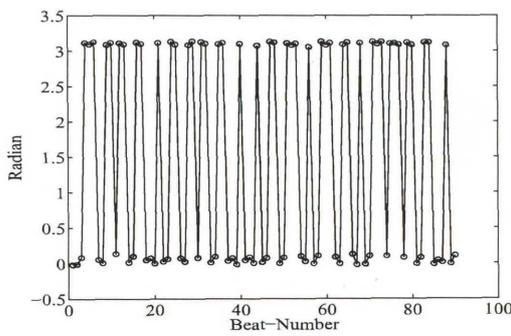


図 6.61: $LOW11(TWVA-1)$

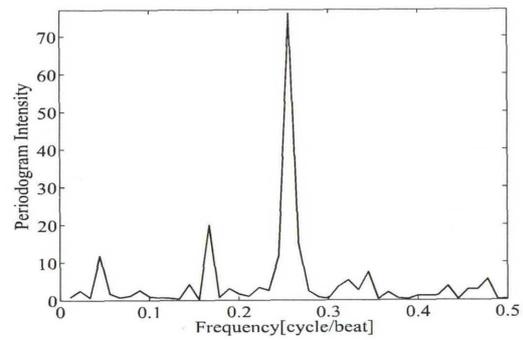


図 6.62: $LOW11$ のペリオドグラム

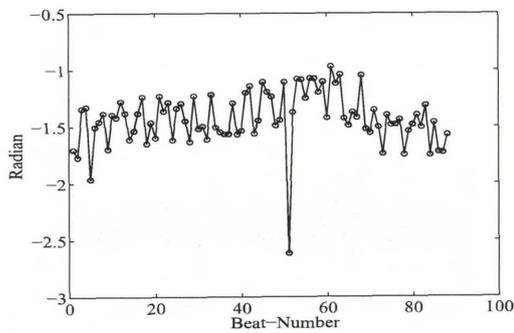


図 6.63: $LOW12(TWVA-1)$

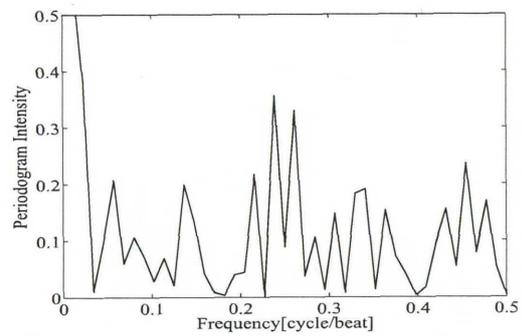


図 6.64: $LOW12$ のペリオドグラム

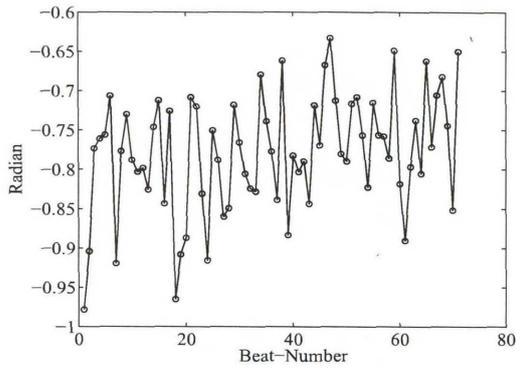


図 6.65: $LOW13(TWVA-1)$

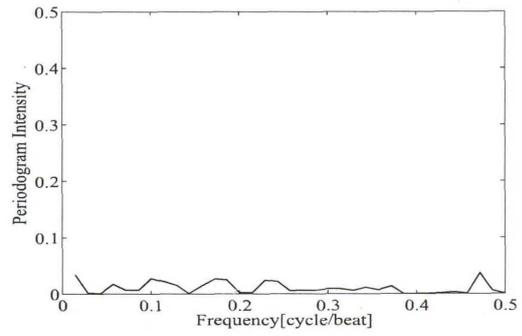


図 6.66: $LOW13$ のペリオドグラム

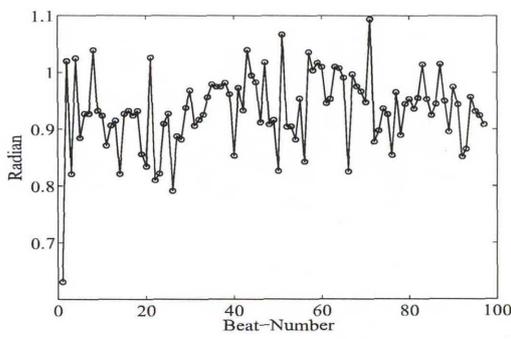


図 6.67: $LOW14(TWVA-1)$

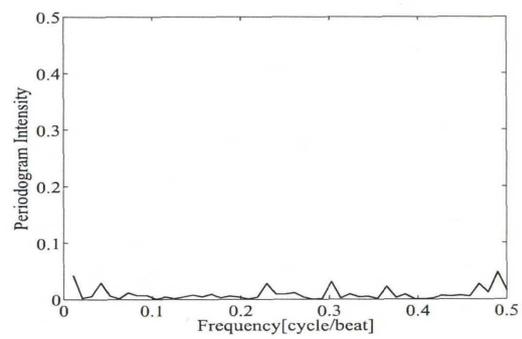


図 6.68: $LOW14$ のペリオドグラム

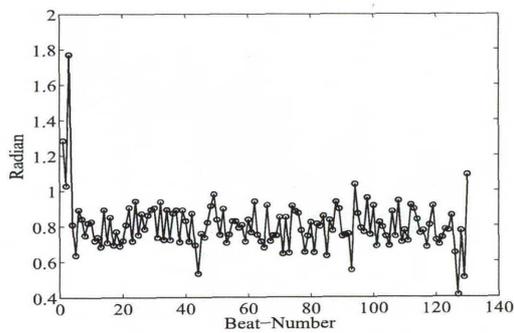


図 6.69: $LOW15(TWVA-1)$

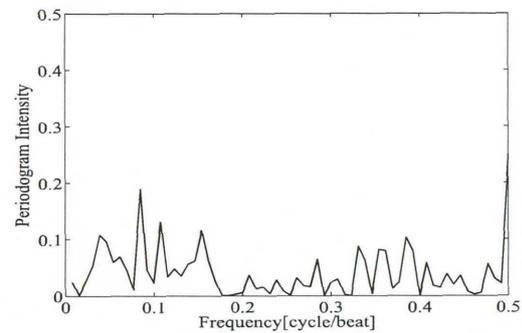


図 6.70: $LOW15$ のペリオドグラム

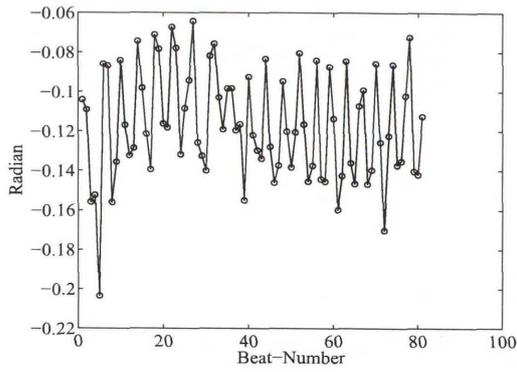


図 6.71: *HIGH01(TWVA - 1)*

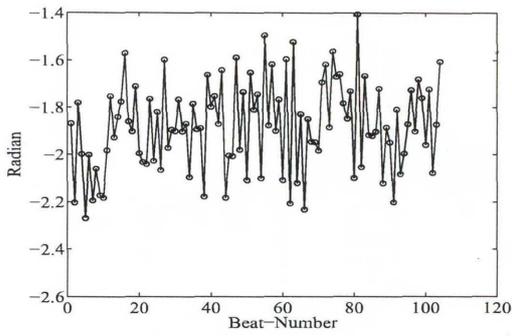
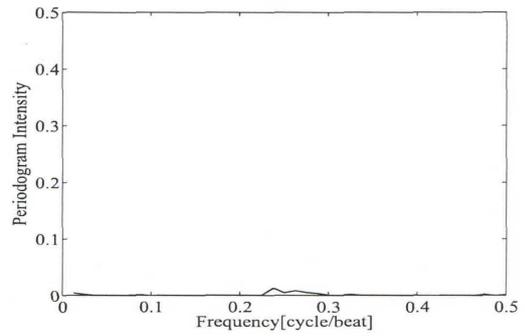


図 6.73: *HIGH02(TWVA - 1)*

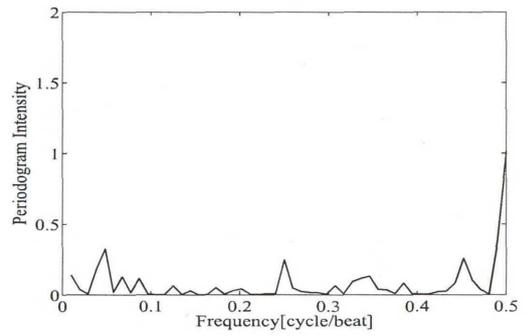


図 6.74: *HIGH02* のペリオドグラム

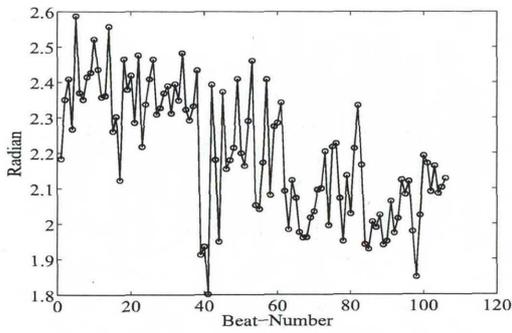


図 6.75: *HIGH03(TWVA - 1)*

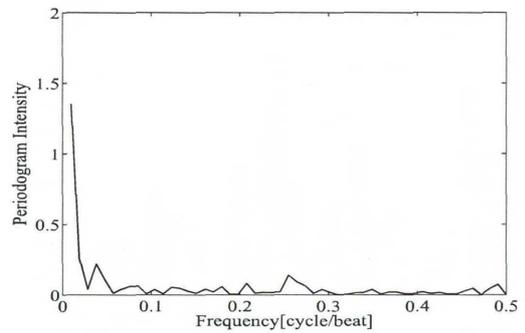


図 6.76: *HIGH03* のペリオドグラム

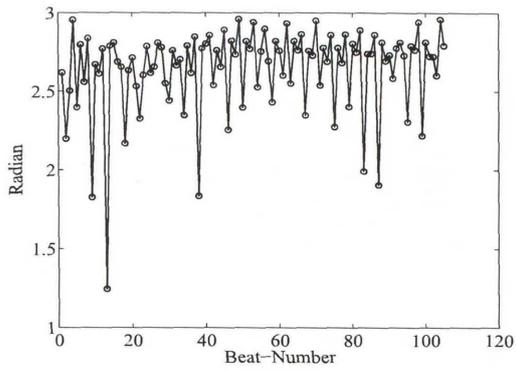


図 6.77: HIGH04(TWVA - 1)

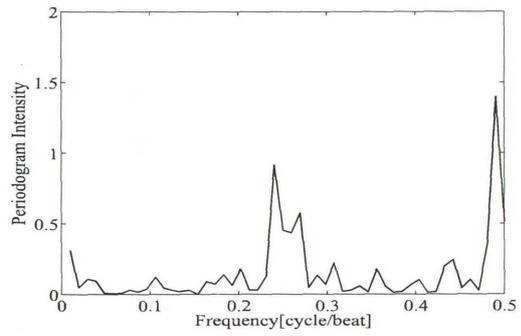


図 6.78: HIGH04 のペリオドグラム

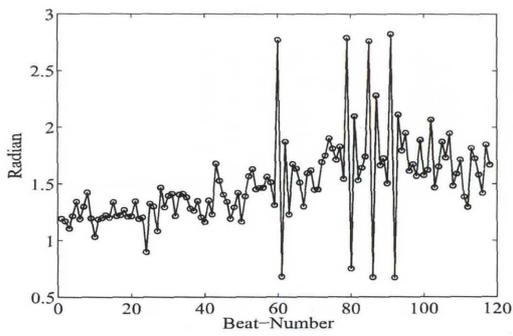


図 6.79: HIGH05(TWVA - 1)

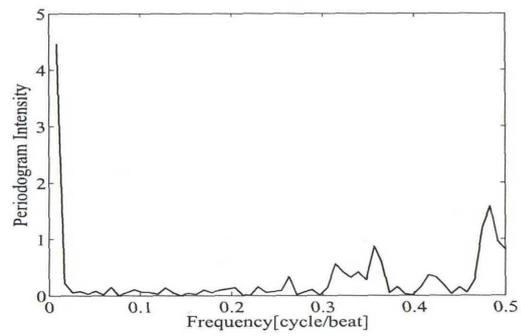


図 6.80: HIGH05 のペリオドグラム

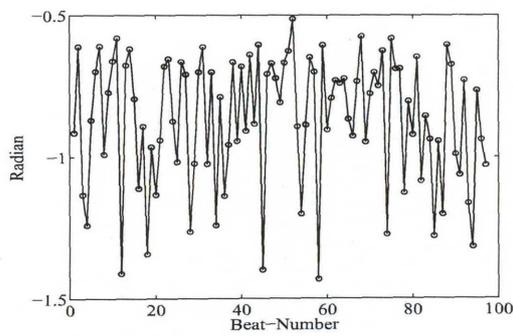


図 6.81: HIGH06(TWVA - 1)

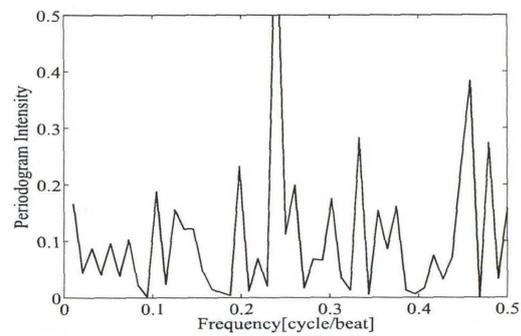


図 6.82: HIGH06 のペリオドグラム

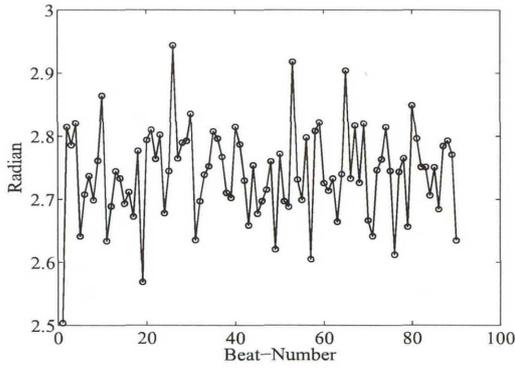


図 6.83: HIGH07(TWVA-1)

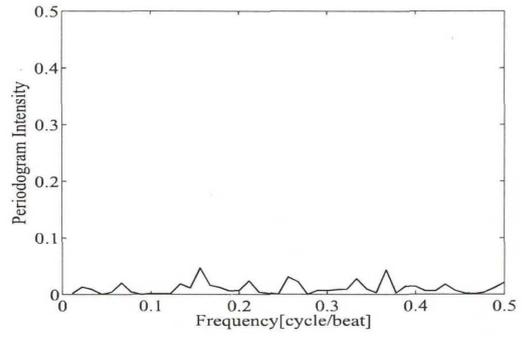


図 6.84: HIGH07のペリオドグラム

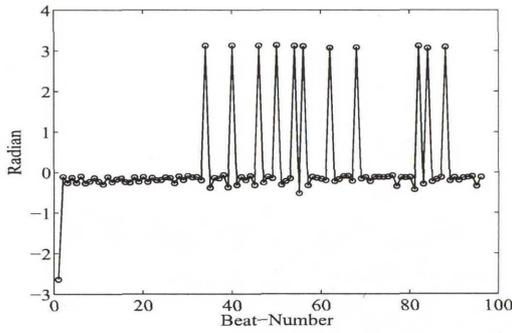


図 6.85: HIGH08(TWVA-1)

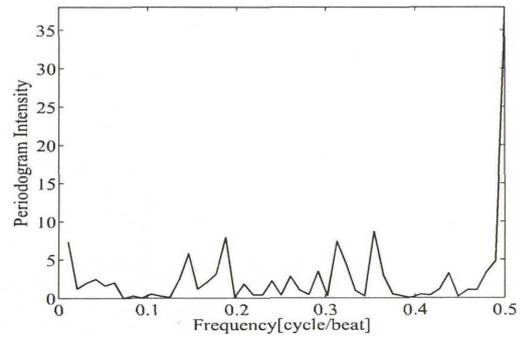


図 6.86: HIGH08のペリオドグラム

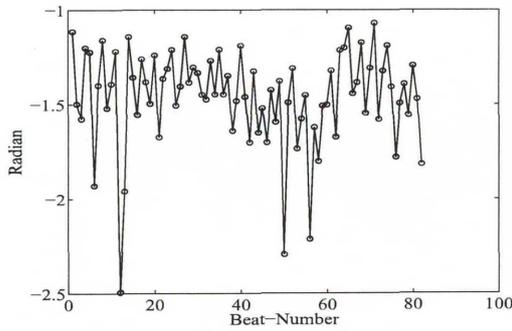


図 6.87: HIGH09(TWVA-1)

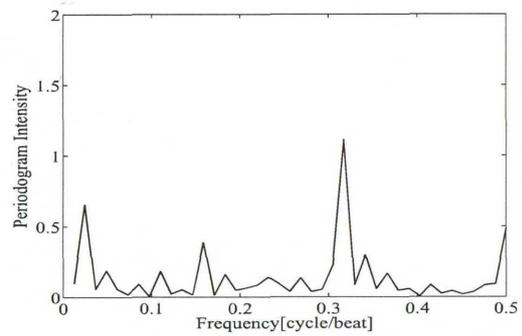


図 6.88: HIGH09のペリオドグラム

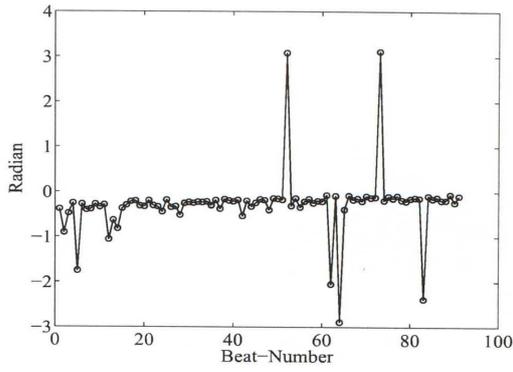


図 6.89: $NML01(TWVA-2)$

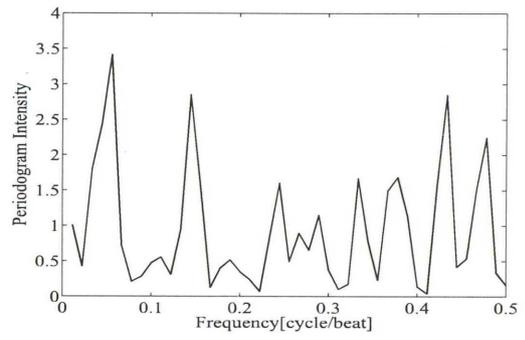


図 6.90: $NML01$ のペリオドグラム

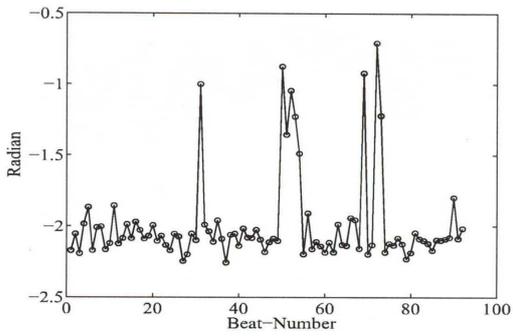


図 6.91: $NML02(TWVA-2)$

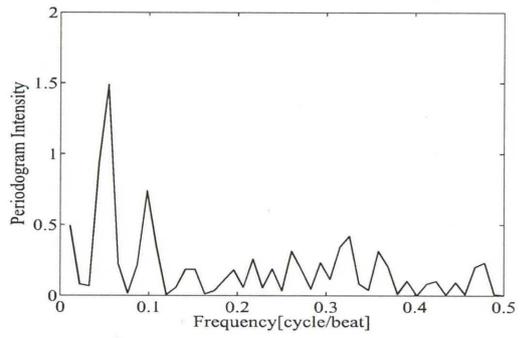


図 6.92: $NML02$ のペリオドグラム

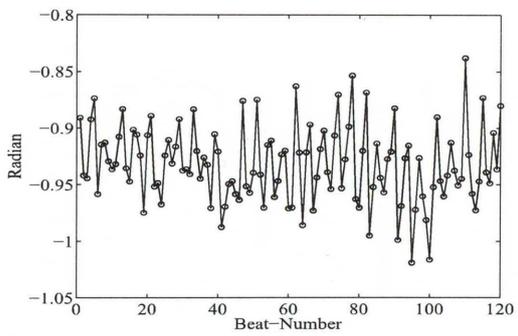


図 6.93: $NML03(TWVA-2)$

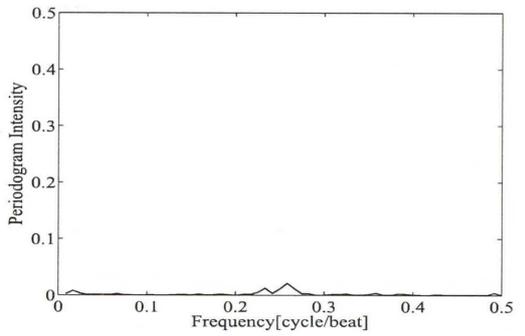


図 6.94: $NML03$ のペリオドグラム

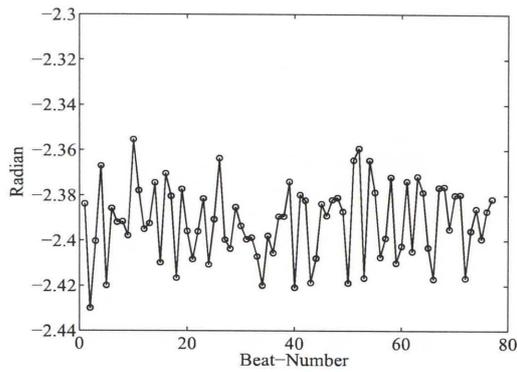


図 6.95: $NML04(TWVA - 2)$

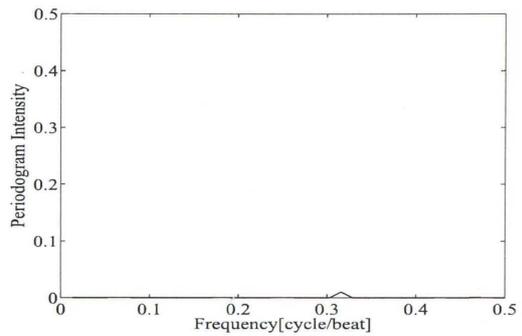


図 6.96: $NML04$ のペリオドグラム

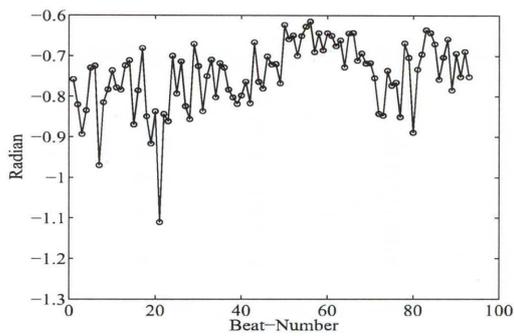


図 6.97: $NML05(TWVA - 2)$

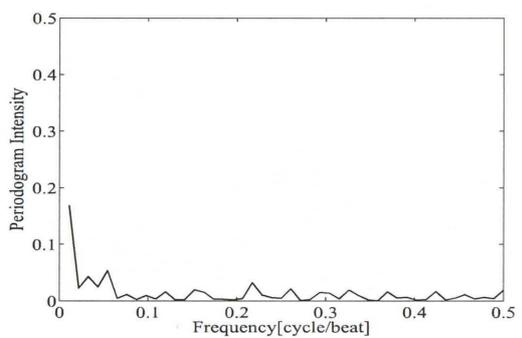


図 6.98: $NML05$ のペリオドグラム

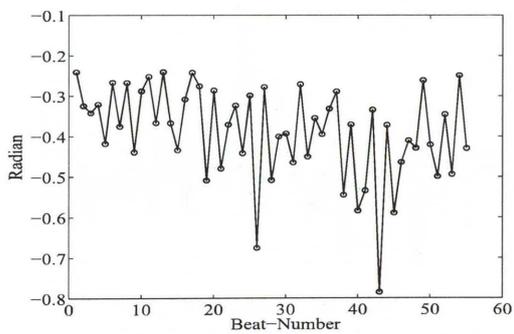


図 6.99: $NML06(TWVA - 2)$

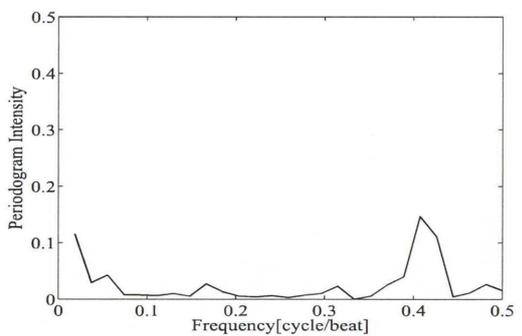


図 6.100: $NML06$ のペリオドグラム

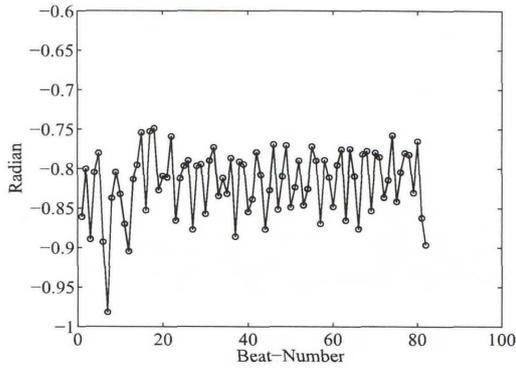


図 6.101: *NML07*(*TWVA* - 2)

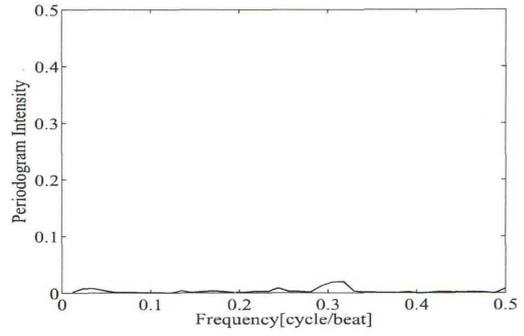


図 6.102: *NML07* のペリオドグラム

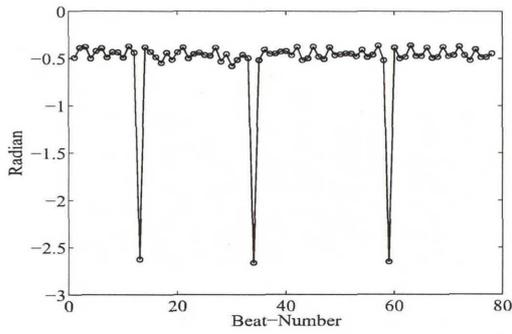


図 6.103: *NML08*(*TWVA* - 2)

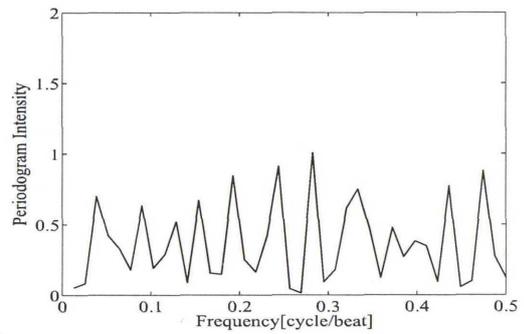


図 6.104: *NML08* のペリオドグラム

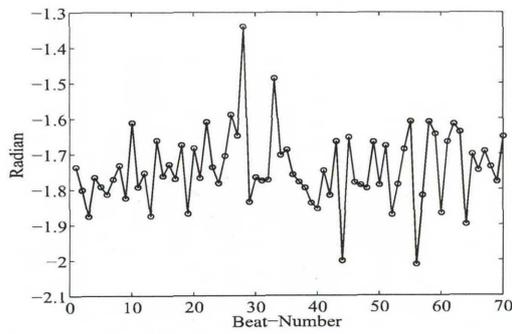


図 6.105: *NML09*(*TWVA* - 2)

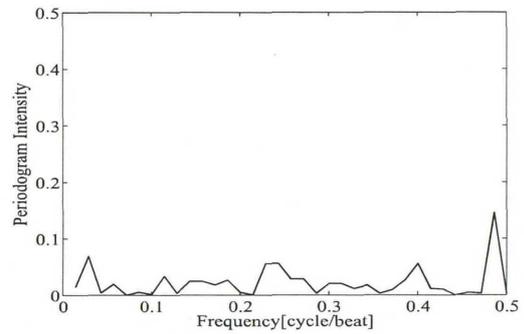


図 6.106: *NML09* のペリオドグラム

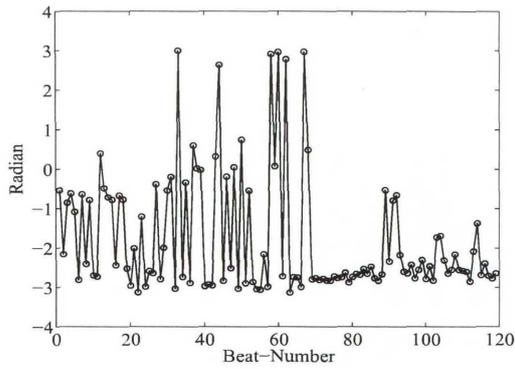


図 6.107: *NML10(TWVA-2)*

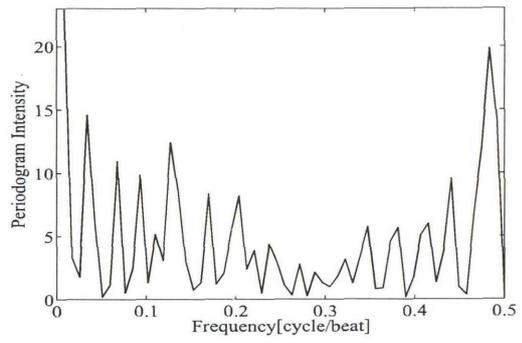


図 6.108: *NML10* のペリオドグラム

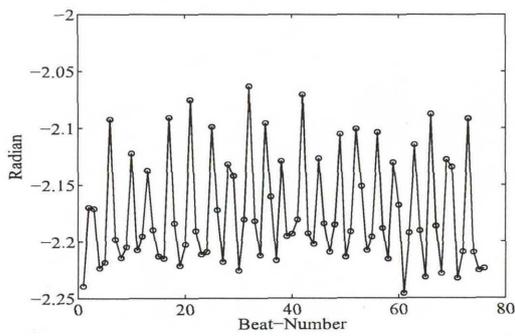


図 6.109: *NML11(TWVA-2)*

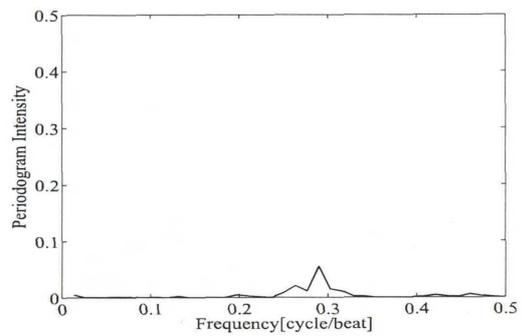


図 6.110: *NML11* のペリオドグラム

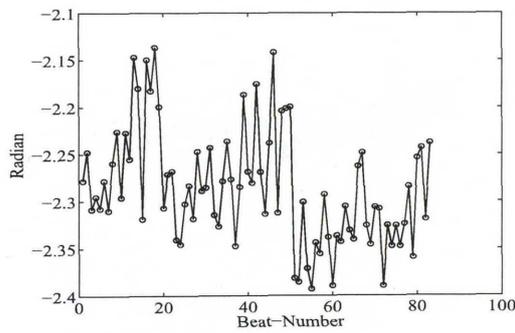


図 6.111: *NML12(TWVA-2)*

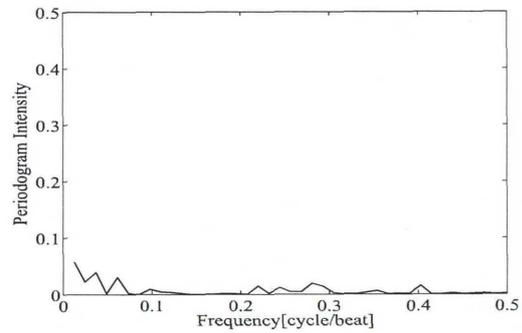


図 6.112: *NML12* のペリオドグラム

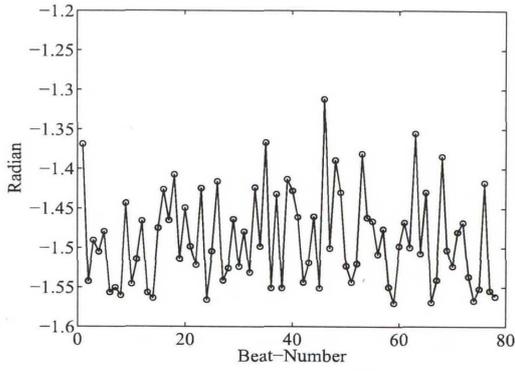


図 6.113: $NML13(TWVA-2)$

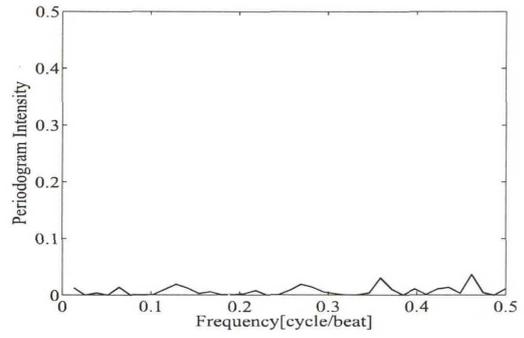


図 6.114: $NML13$ のペリオドグラム

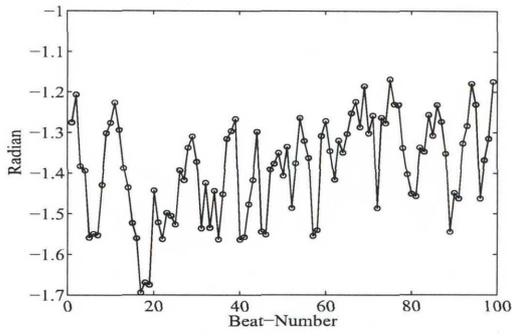


図 6.115: $NML14(TWVA-2)$

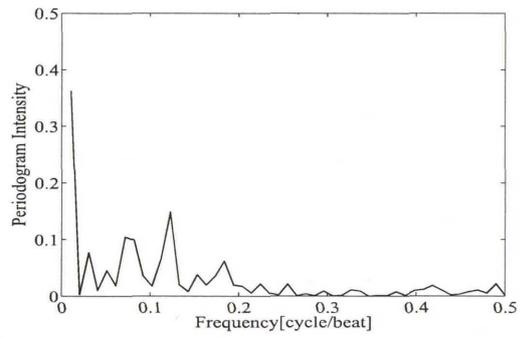


図 6.116: $NML14$ のペリオドグラム

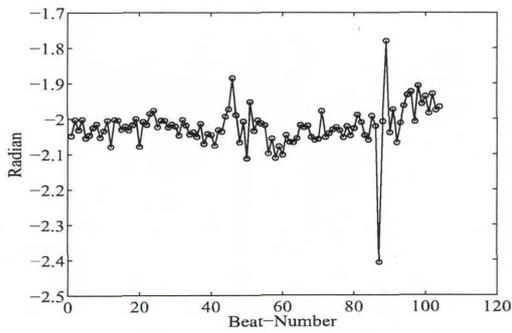


図 6.117: $NML15(TWVA-2)$

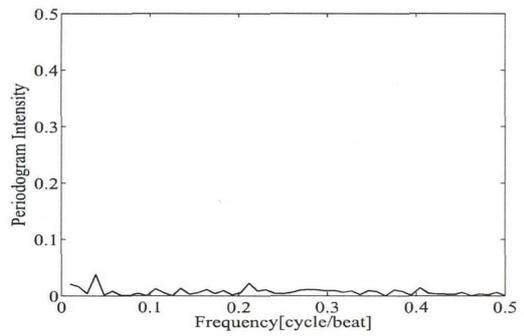


図 6.118: $NML15$ のペリオドグラム

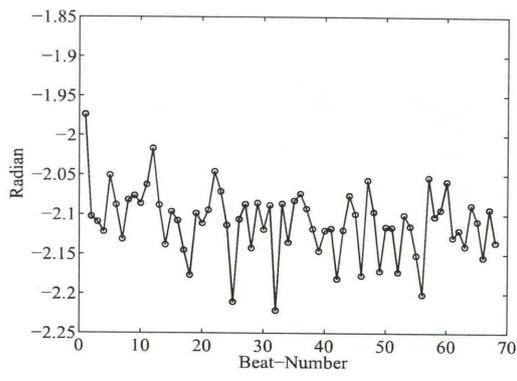


図 6.119: $NML16(TWVA - 2)$

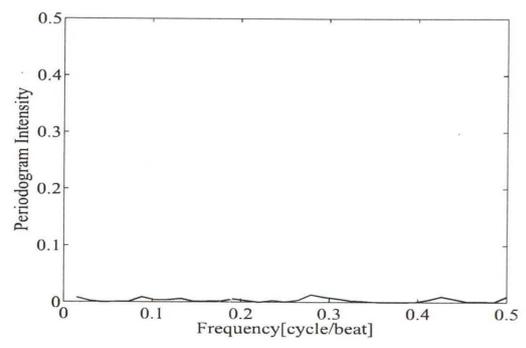


図 6.120: $NML16$ のペリオドグラム

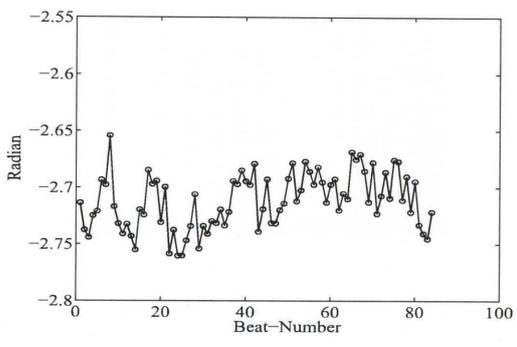


図 6.121: $NML17(TWVA - 2)$

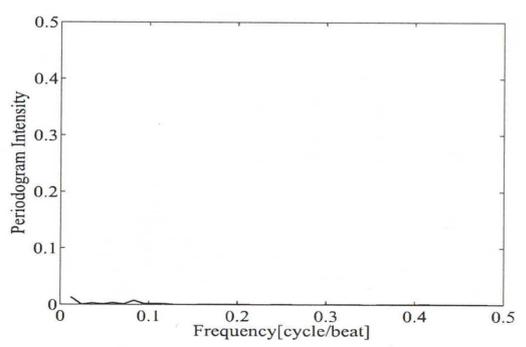


図 6.122: $NML17$ のペリオドグラム

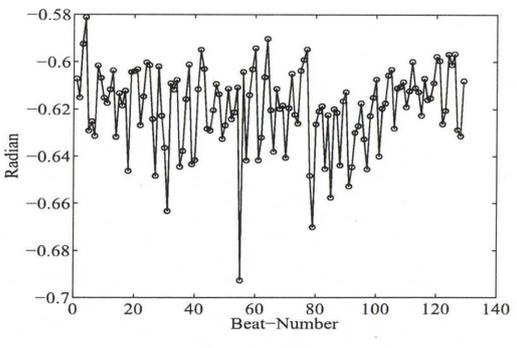


図 6.123: $NML18(TWVA - 2)$

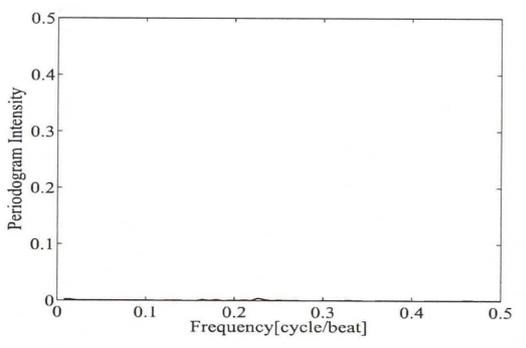


図 6.124: $NML018$ のペリオドグラム

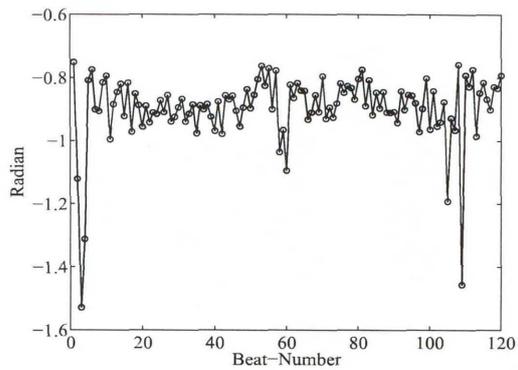


図 6.125: $NML19(TWVA - 2)$

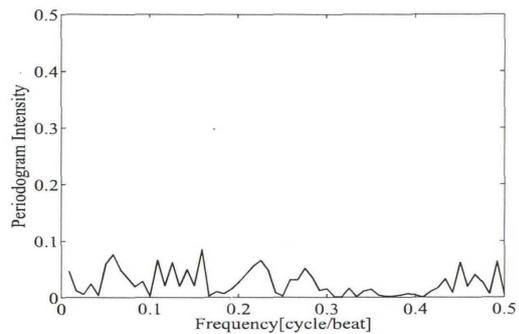


図 6.126: $NML19$ のペリオドグラム

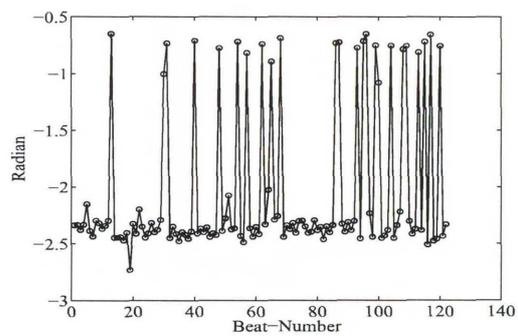


図 6.127: $NML20(TWVA - 2)$

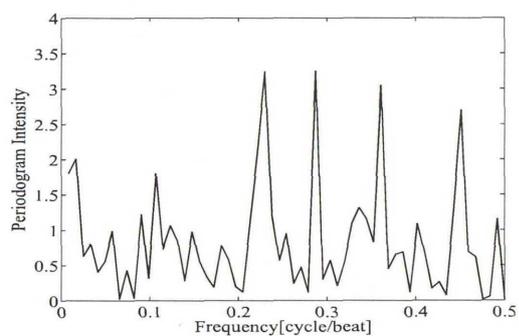


図 6.128: $NML20$ のペリオドグラム

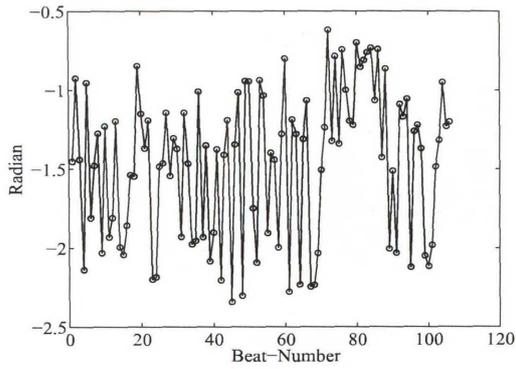


図 6.129: $LOW01(TWVA - 2)$

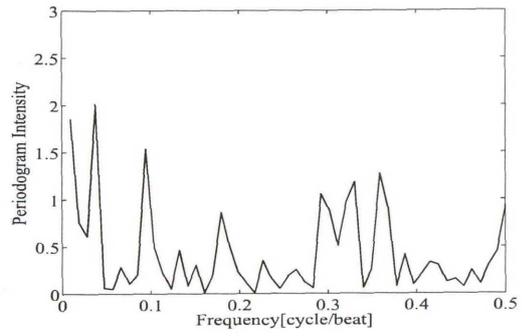


図 6.130: $LOW01$ のペリオドグラム

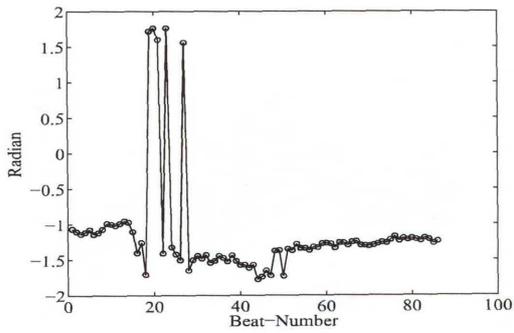


図 6.131: $LOW02(TWVA - 2)$

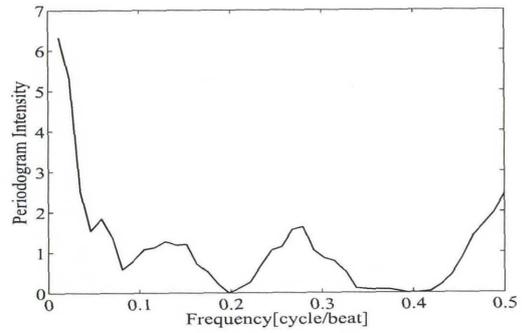


図 6.132: $LOW02$ のペリオドグラム

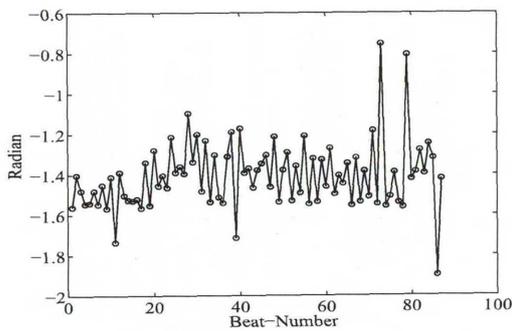


図 6.133: $LOW03(TWVA - 2)$

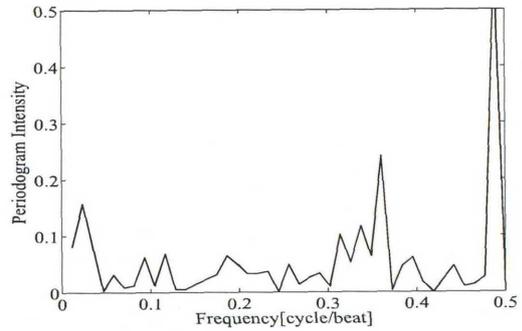


図 6.134: $LOW03$ のペリオドグラム

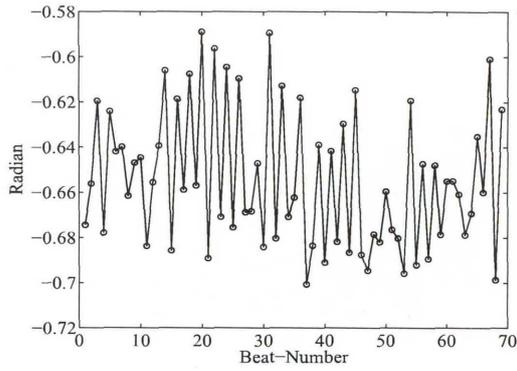


図 6.135: *LOW04(TWVA-2)*

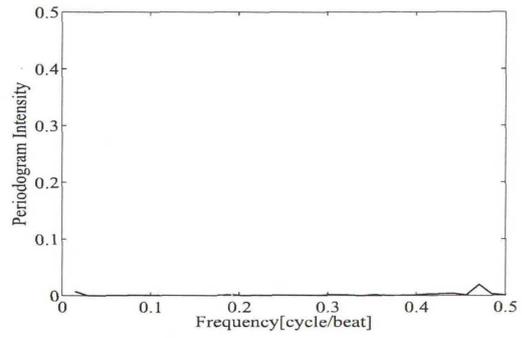


図 6.136: *LOW04* のペリオドグラム

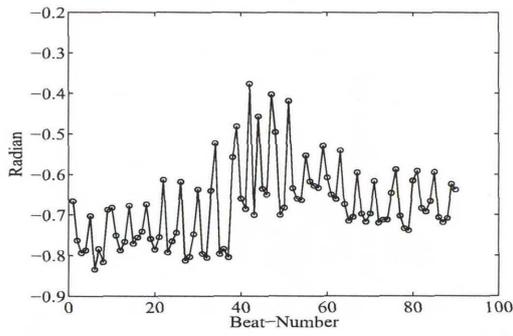


図 6.137: *LOW05(TWVA-2)*

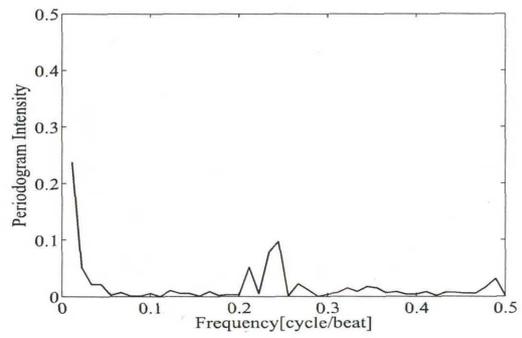


図 6.138: *LOW05* のペリオドグラム

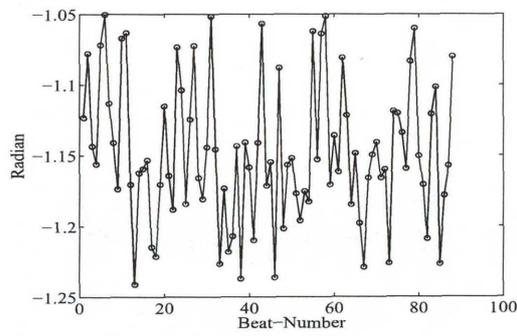


図 6.139: *LOW06(TWVA-2)*

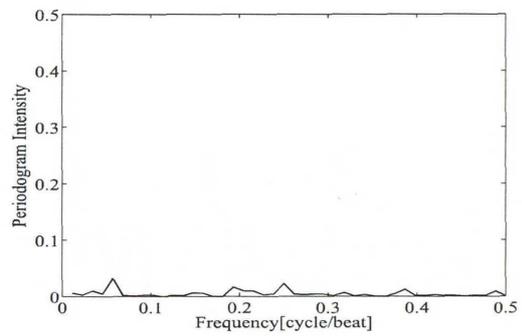


図 6.140: *LOW06* のペリオドグラム

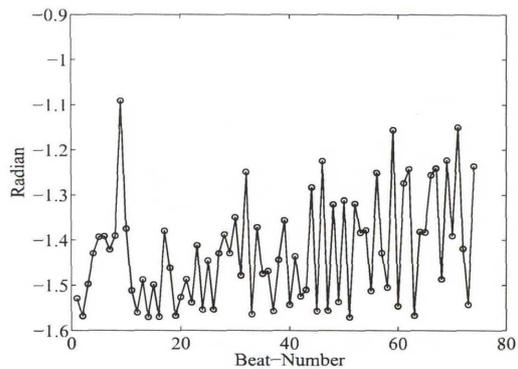


図 6.141: *LOW07(TWVA-2)*

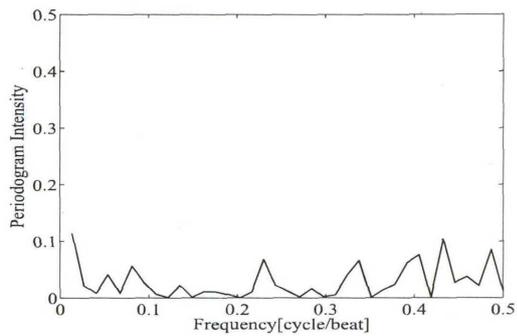


図 6.142: *LOW07* のペリオドグラム

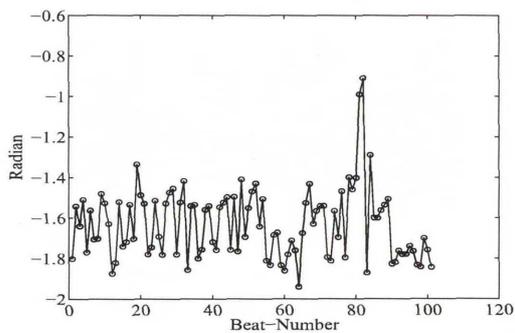


図 6.143: *LOW08(TWVA-2)*

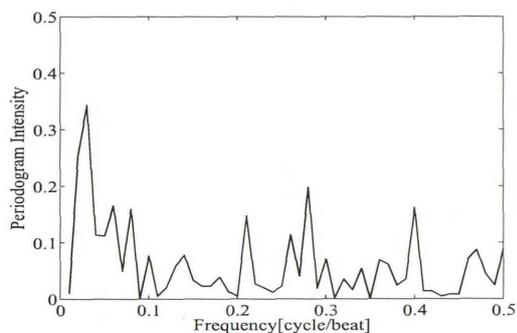


図 6.144: *LOW08* のペリオドグラム

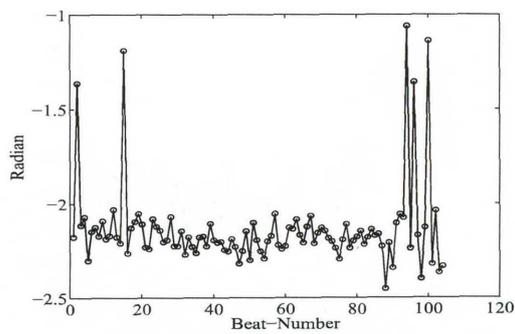


図 6.145: *LOW09(TWVA-2)*

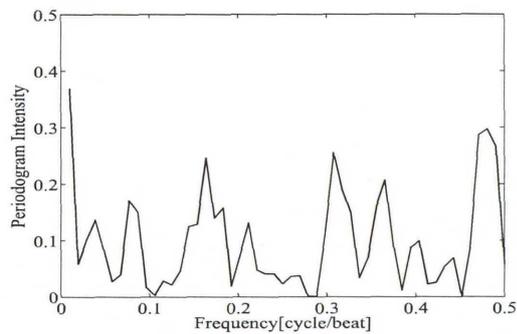


図 6.146: *LOW09* のペリオドグラム

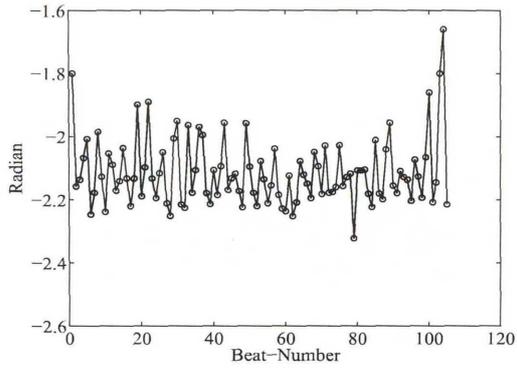


図 6.147: $LOW10(TWVA-2)$

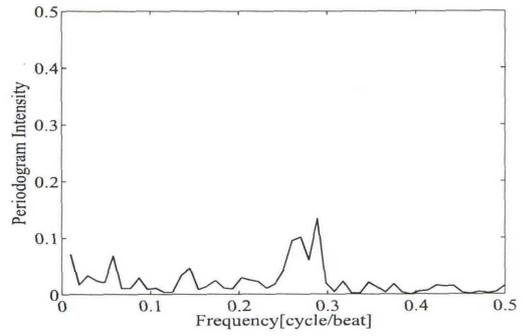


図 6.148: $LOW10$ のペリオドグラム

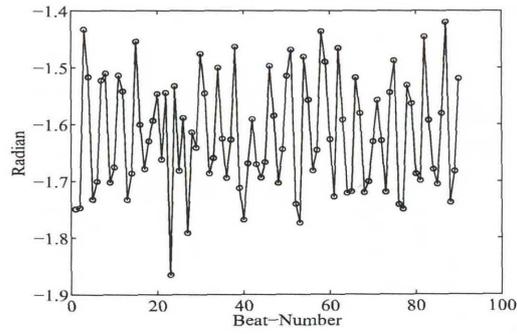


図 6.149: $LOW11(TWVA-2)$

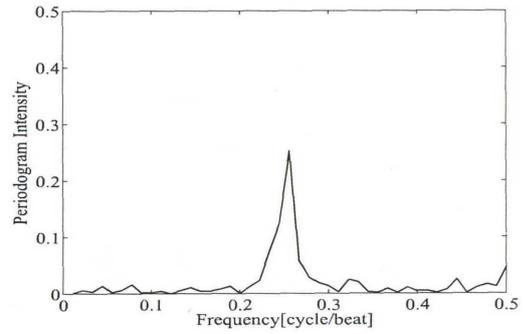


図 6.150: $LOW11$ のペリオドグラム

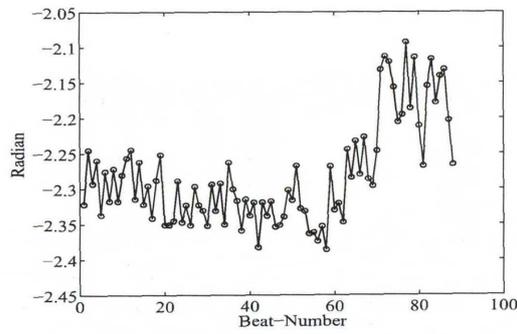


図 6.151: $LOW12(TWVA-2)$

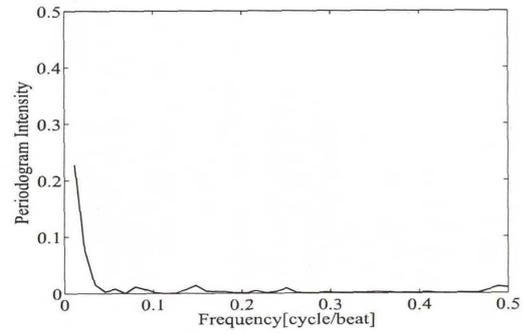


図 6.152: $LOW12$ のペリオドグラム

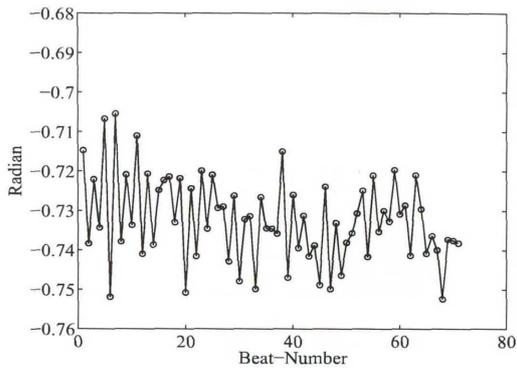


図 6.153: *LOW13(TWVA-2)*

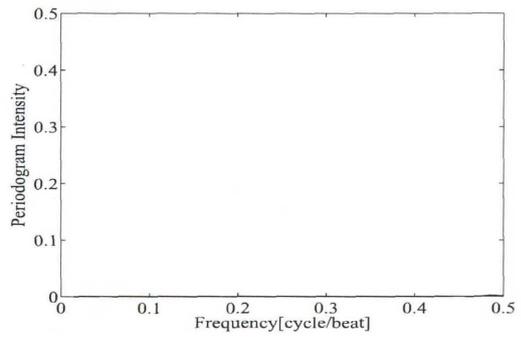


図 6.154: *LOW13* のペリオドグラム

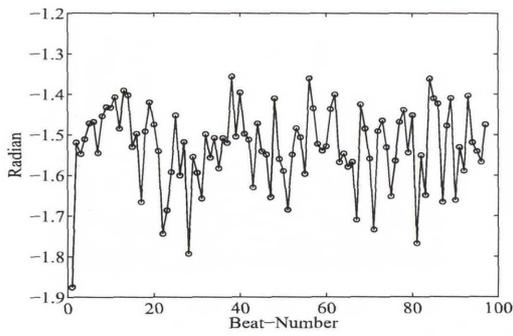


図 6.155: *LOW14(TWVA-2)*

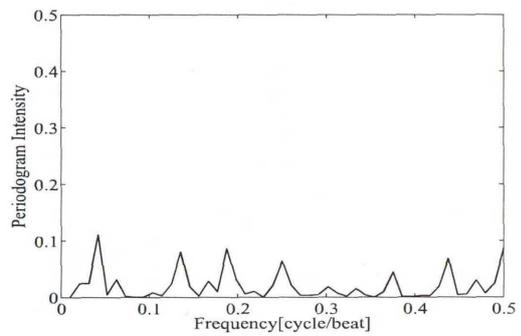


図 6.156: *LOW14* のペリオドグラム

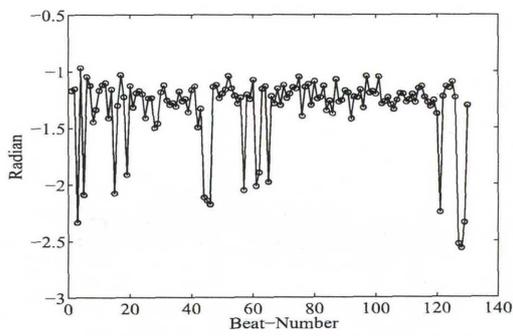


図 6.157: *LOW15(TWVA-2)*

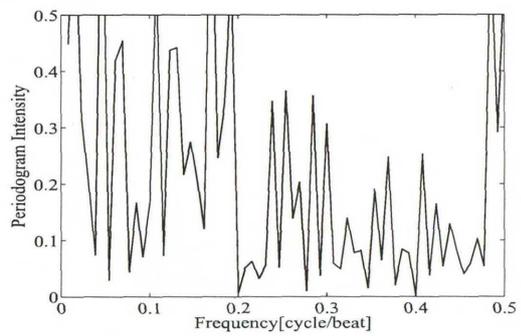


図 6.158: *LOW15* のペリオドグラム

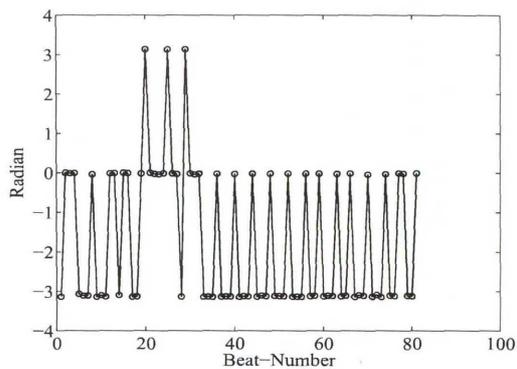


図 6.159: *HIGH01*(*TWVA* - 2)

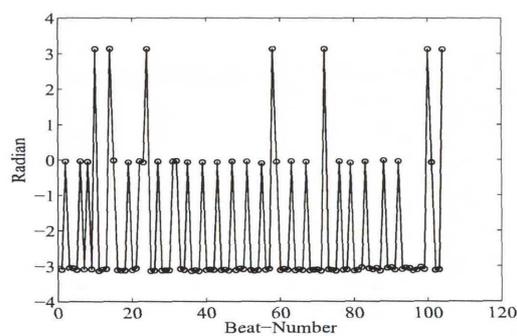
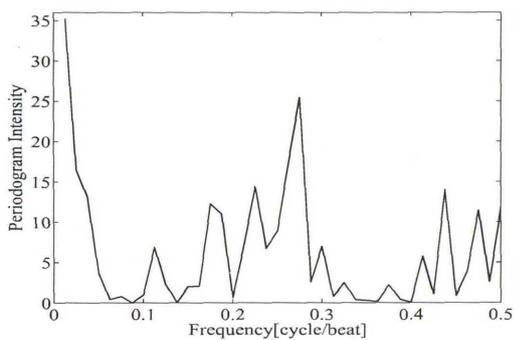


図 6.161: *HIGH02*(*TWVA* - 2)

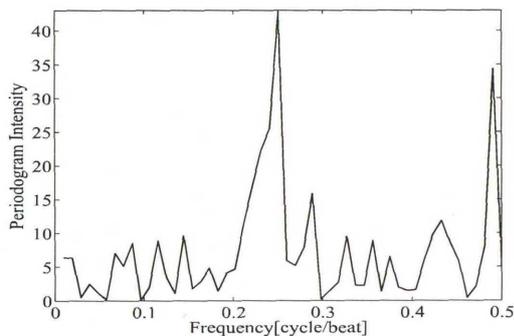


図 6.162: *HIGH02* のペリオドグラム

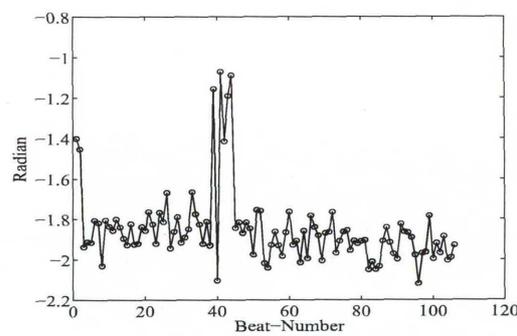


図 6.163: *HIGH03*(*TWVA* - 2)

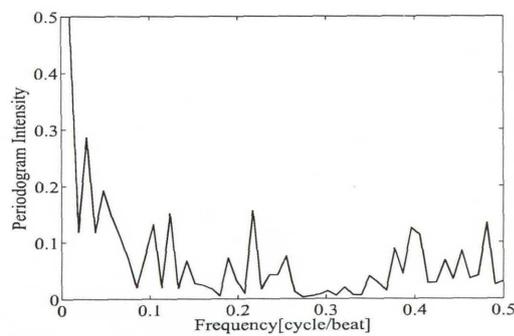


図 6.164: *HIGH03* のペリオドグラム

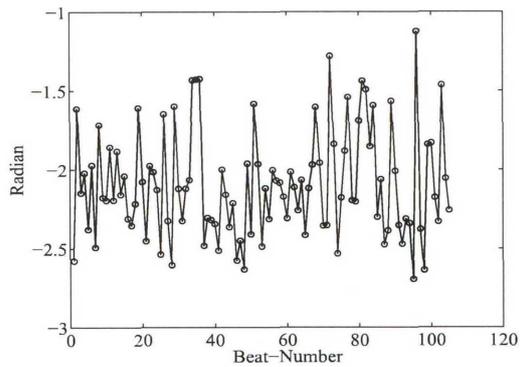


図 6.165: HIGH04(TWVA-2)

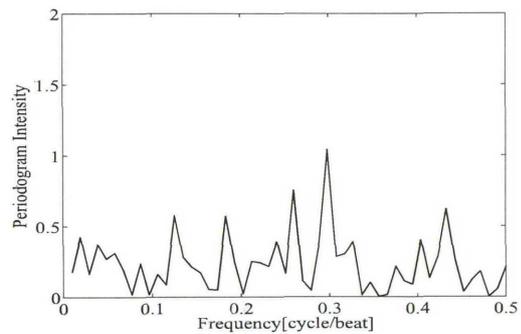


図 6.166: HIGH04 のペリオドグラム

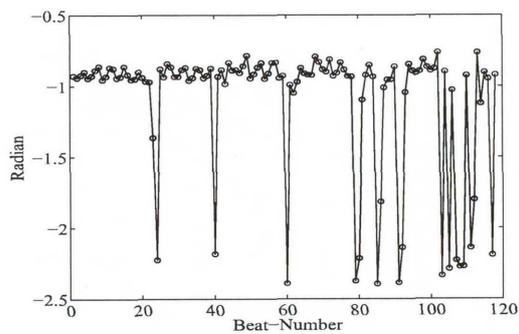


図 6.167: HIGH05(TWVA-2)

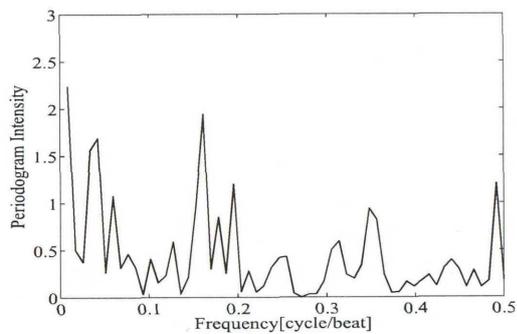


図 6.168: HIGH05 のペリオドグラム

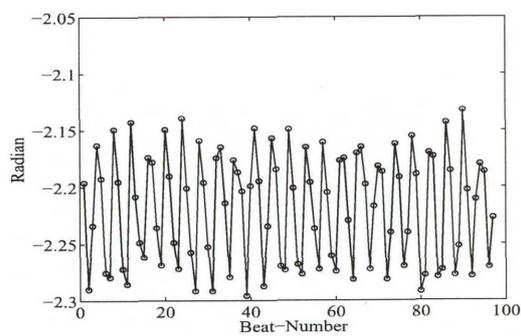


図 6.169: HIGH06(TWVA-2)

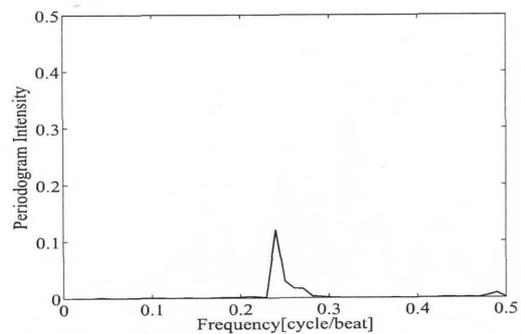


図 6.170: HIGH06 のペリオドグラム

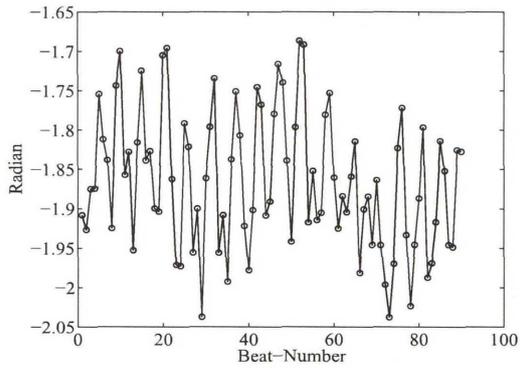


図 6.171: HIGH07(TWVA-2)

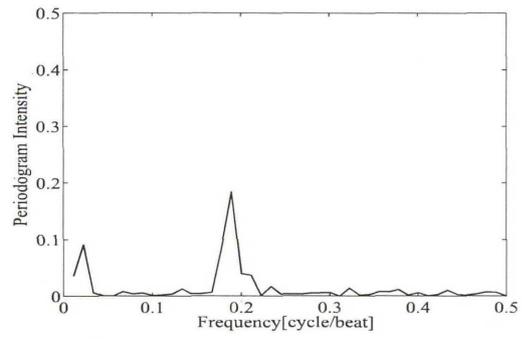


図 6.172: HIGH07 のペリオドグラム

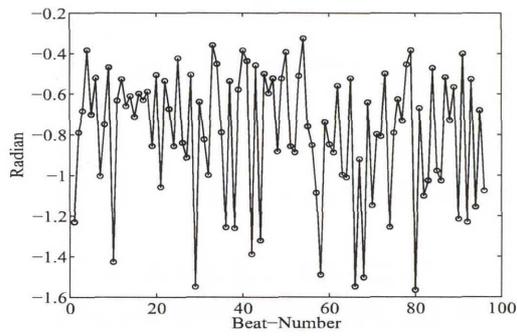


図 6.173: HIGH08(TWVA-2)

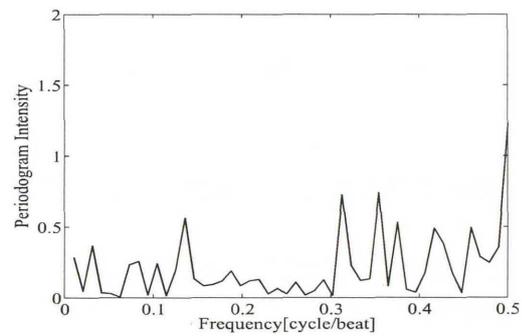


図 6.174: HIGH08 のペリオドグラム

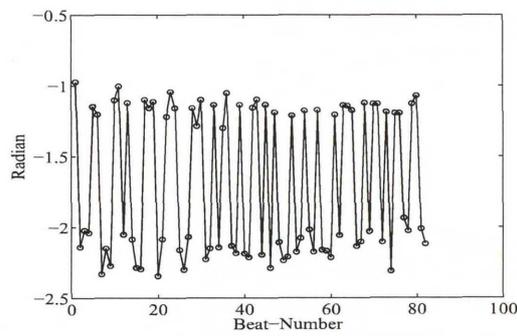


図 6.175: HIGH09(TWVA-2)

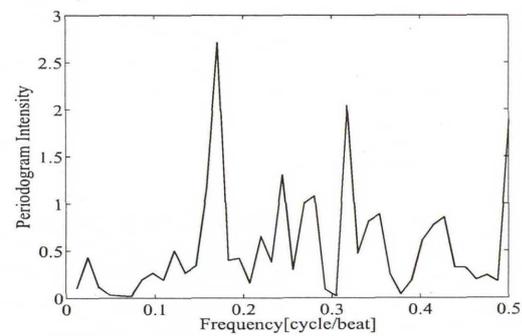


図 6.176: HIGH09 のペリオドグラム

以下に $TWVA - 2$ と $TWVA - 1$ のボックスプロットによる比較結果を示す.

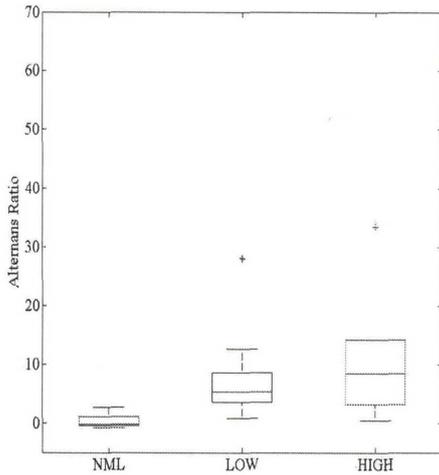


図 6.177: $TWVA - 1$ の AR 値

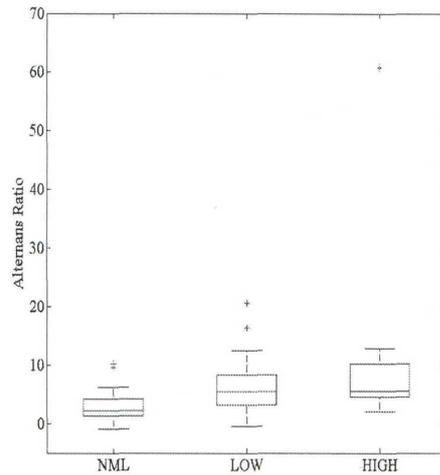


図 6.178: $TWVA - 2$ の AR 値分類

次に NML 群と TWA 群でノンパラメトリックな有意差検定法として知られる *wilcoxon* 検定を行った結果を以下の表に示す. ここで, 本稿における有意差水準を 5% ($P \geq 0.05$), 1% ($P \geq 0.01$) とする.

表 6.1: AR に対する *wilcoxon* 検定結果 P ($TWVA-1$)

$NML - LOW$	$NML-HIGH$	$LOW-HIGH$
1.03×10^{-4}	1.7×10^{-3}	4.7×10^{-1}

表 6.2: AR に対する *wilcoxon* 検定結果 P ($TWVA-2$)

$NML - LOW$	$NML-HIGH$	$LOW-HIGH$
1.72×10^{-2}	7.7×10^{-3}	4.7×10^{-1}

6.2 特徴系列の結果比較

特徴系列によって得られる第一特徴成分系列と、そのペリオドグラムの結果を全拍で *SVD* するパターン (*TWVA-1*) と一拍で *SVD* するパターン (*TWVA-2*) 別に、*NML*, *LOW*, *HIGH* の順に表示する。また、本稿では3誘導のうち最も *AR* が高い値をそのデータの評価対象としている。そのため、以下で表示する結果は各データの代表値のみである。

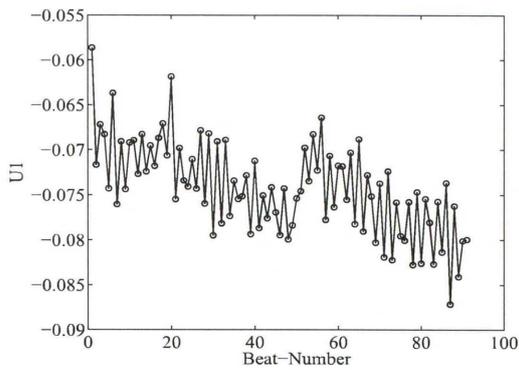


図 6.179: $NML01(TWVA - 1)$

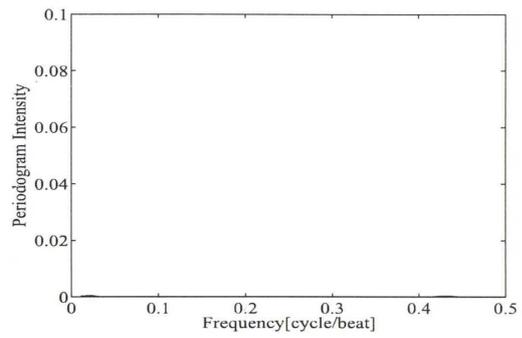


図 6.180: $NML01$ のペリオドグラム

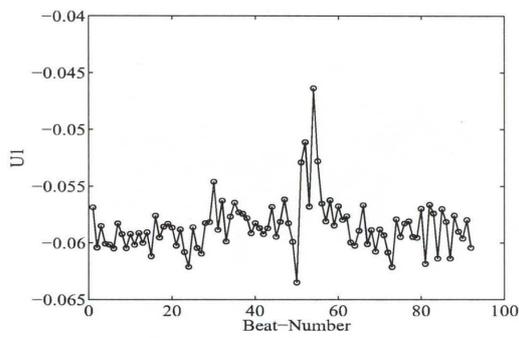


図 6.181: $NML02(TWVA - 1)$

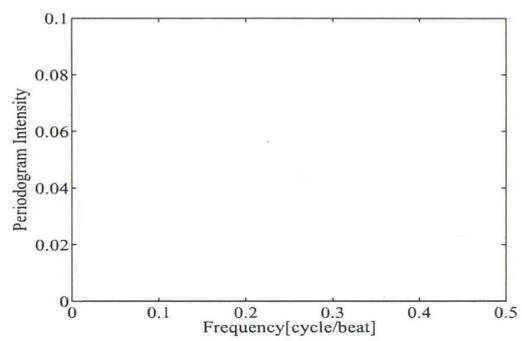


図 6.182: $NML02$ のペリオドグラム

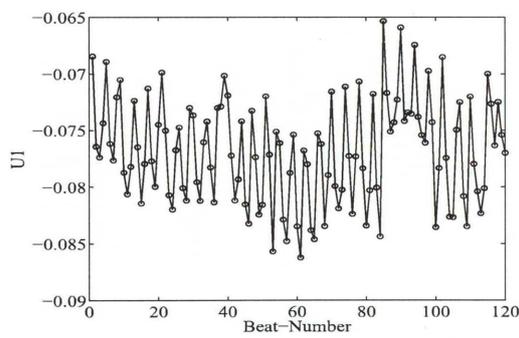


図 6.183: $NML03(TWVA - 1)$

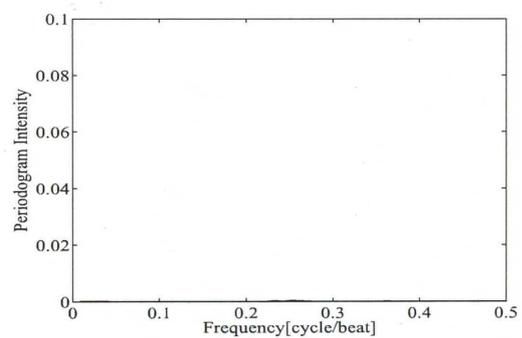


図 6.184: $NML03$ のペリオドグラム

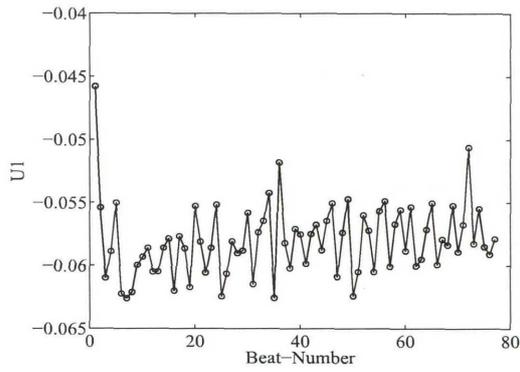


図 6.185: $NML04(TWVA - 1)$

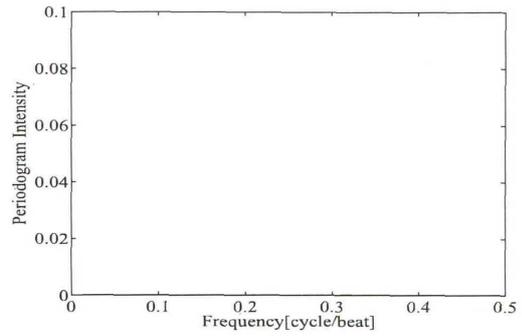


図 6.186: $NML04$ のペリオドグラム

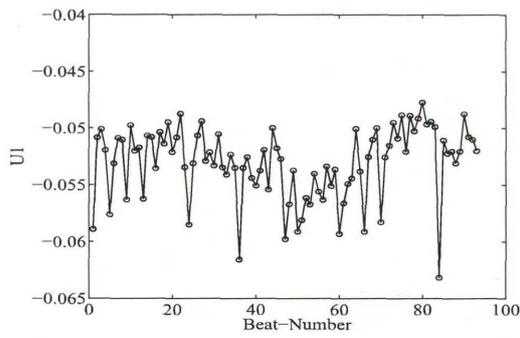


図 6.187: $NML05(TWVA - 1)$

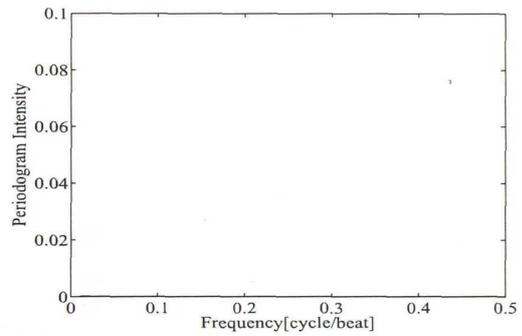


図 6.188: $NML05$ のペリオドグラム

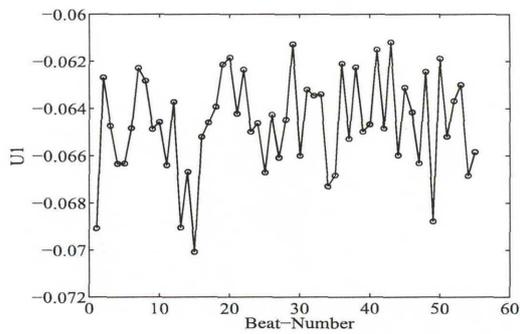


図 6.189: $NML06(TWVA - 1)$

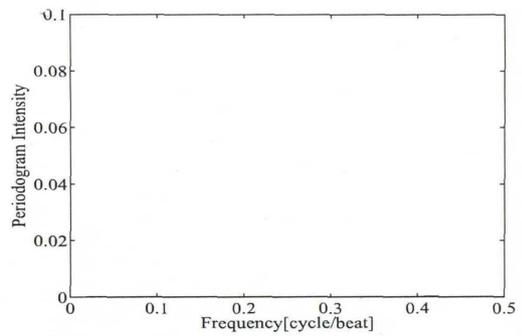


図 6.190: $NML06$ のペリオドグラム

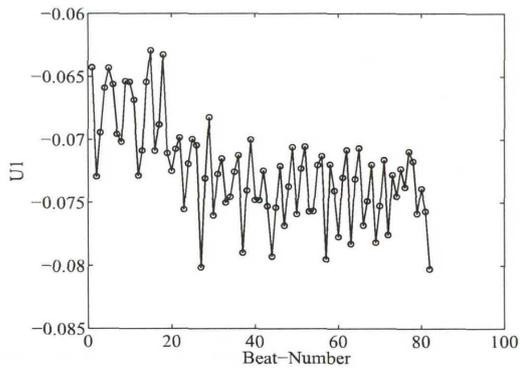


図 6.191: *NML07(TWVA-1)*

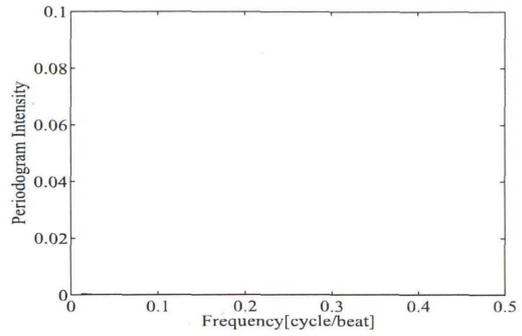


図 6.192: *NML07* のペリオドグラム

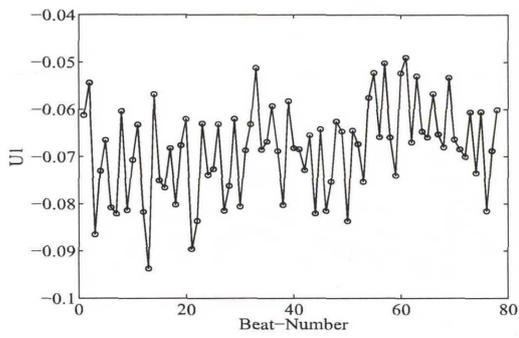


図 6.193: *NML08(TWVA-1)*

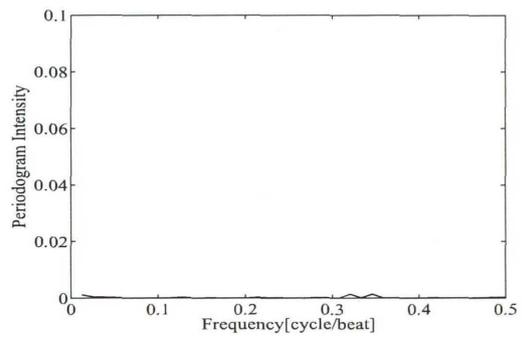


図 6.194: *NML08* のペリオドグラム

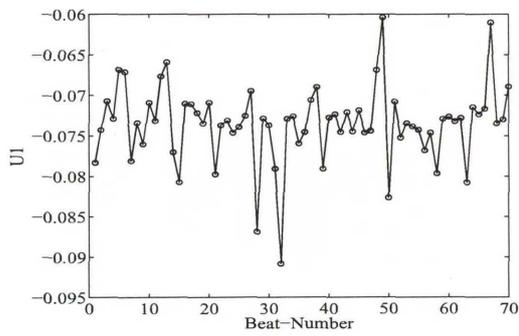


図 6.195: *NML09(TWVA-1)*

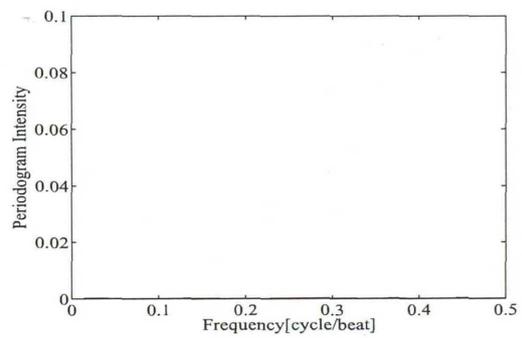


図 6.196: *NML09* のペリオドグラム

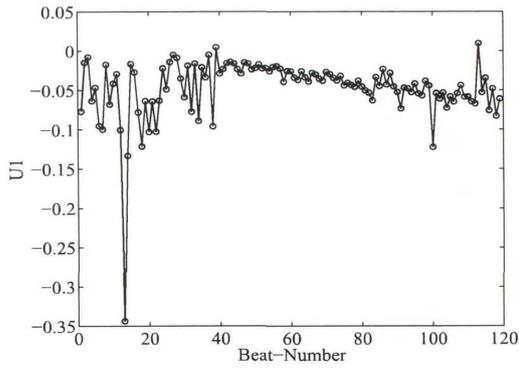


図 6.197: $NML10(TWVA-1)$

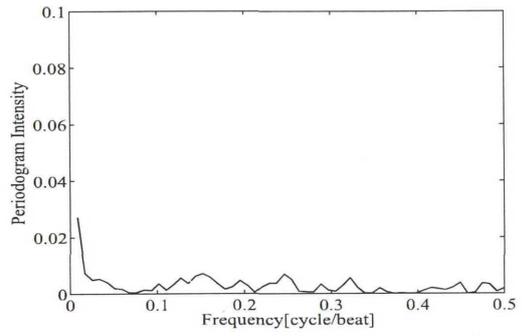


図 6.198: $NML10$ のペリオドグラム

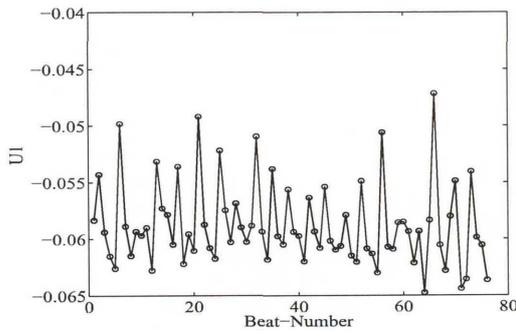


図 6.199: $NML11(TWVA-1)$

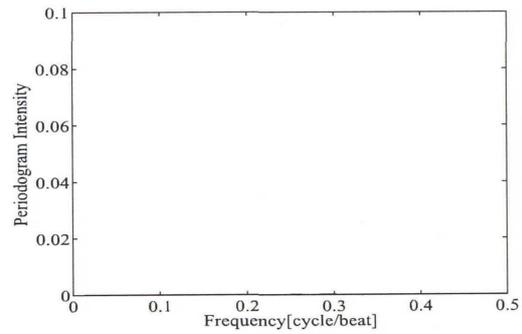


図 6.200: $NML11$ のペリオドグラム

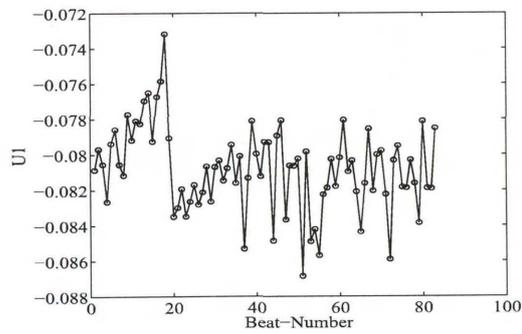


図 6.201: $NML12(TWVA-1)$

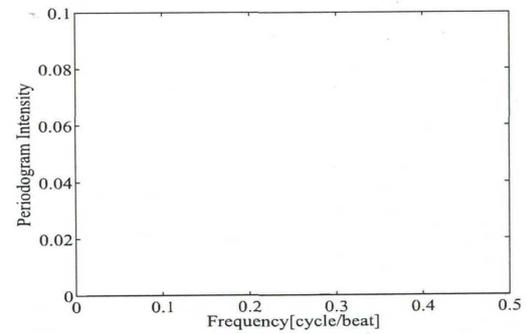


図 6.202: $NML12$ のペリオドグラム

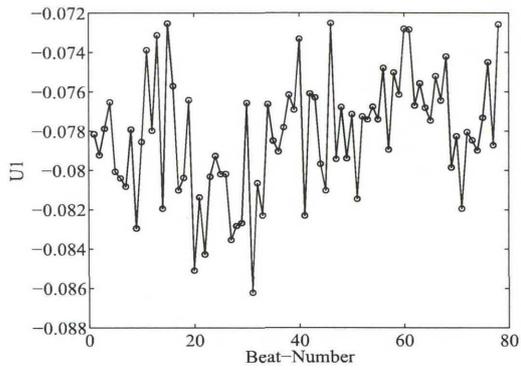


図 6.203: *NML13*(*TWVA* - 1)

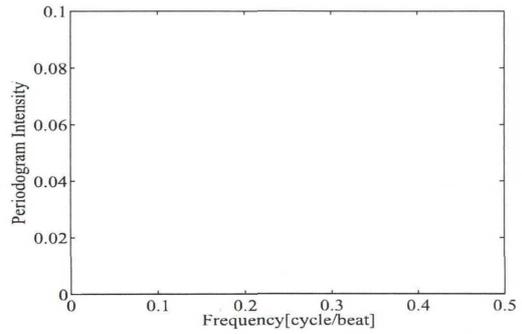


図 6.204: *NML13* のペリオドグラム

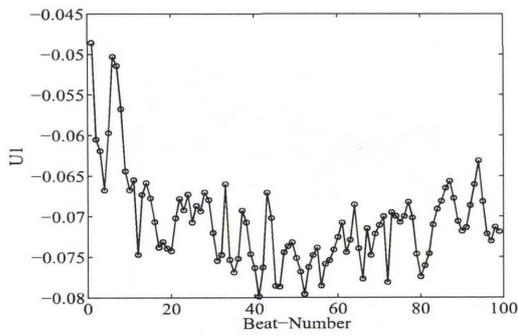


図 6.205: *NML14*(*TWVA* - 1)

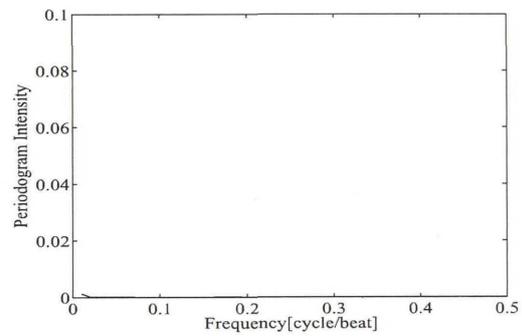


図 6.206: *NML14* のペリオドグラム

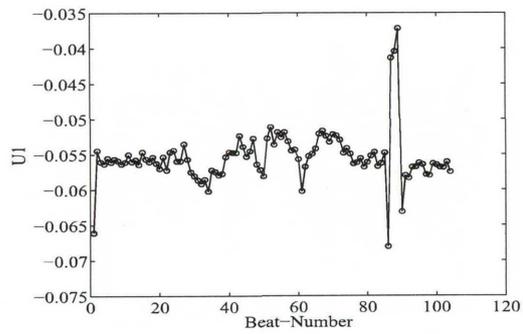


図 6.207: *NML15*(*TWVA* - 1)

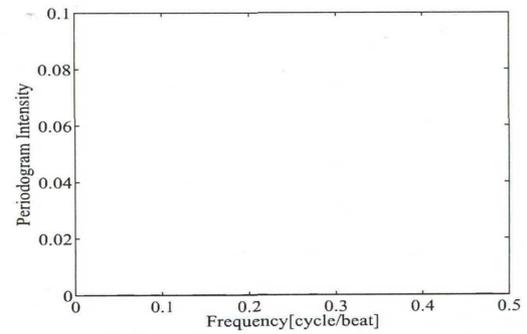


図 6.208: *NML15* のペリオドグラム

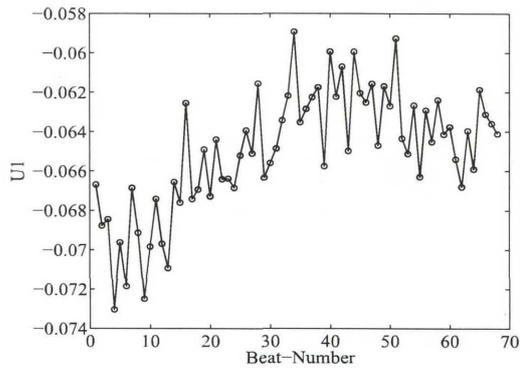


図 6.209: *NML16(TWVA-1)*

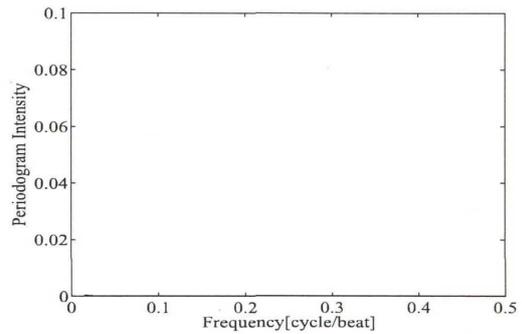


図 6.210: *NML16* のペリオドグラム

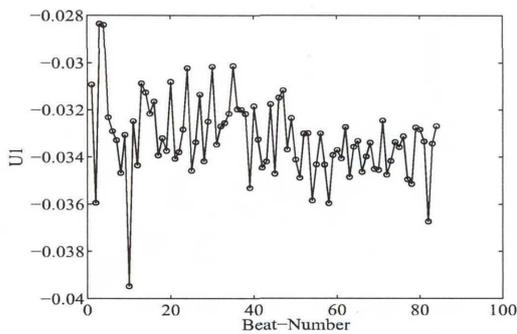


図 6.211: *NML17(TWVA-1)*

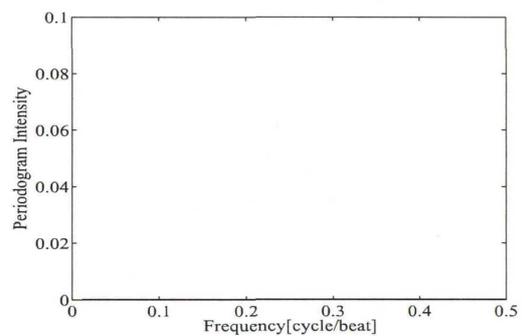


図 6.212: *NML17* のペリオドグラム

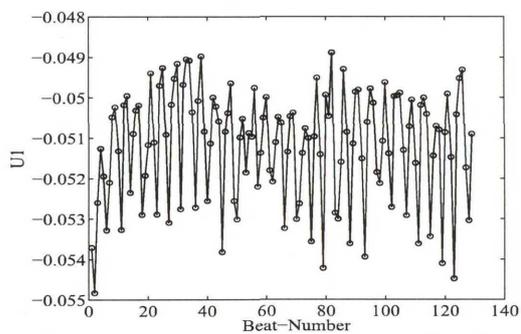


図 6.213: *NML18(TWVA-1)*

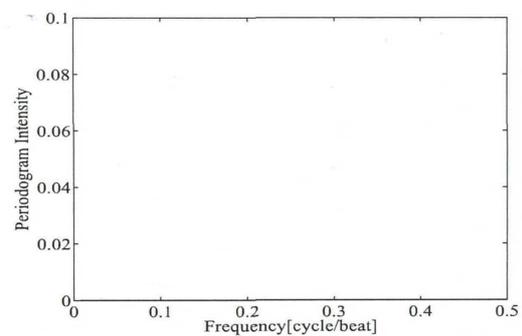


図 6.214: *NML018* のペリオドグラム

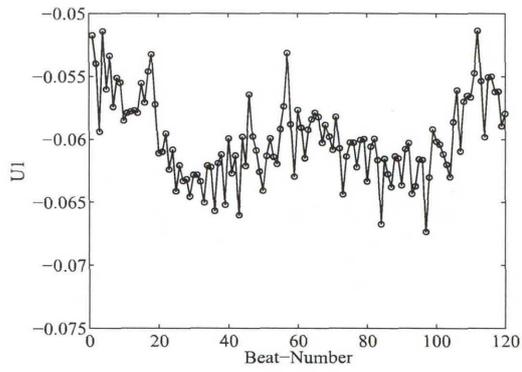


図 6.215: *NML19(TWVA-1)*

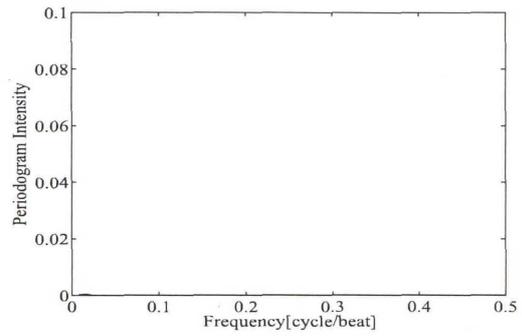


図 6.216: *NML19* のペリオドグラム

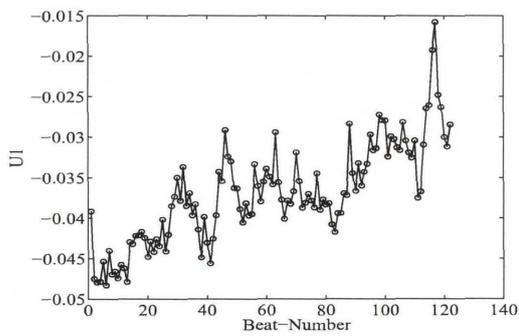


図 6.217: *NML20(TWVA-1)*

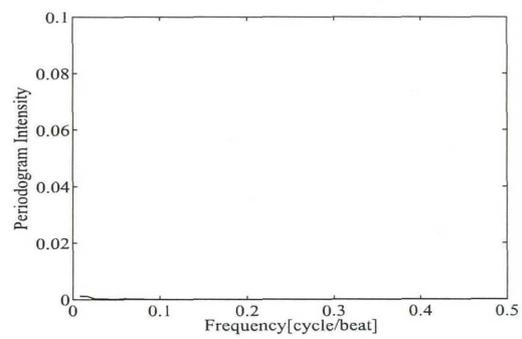


図 6.218: *NML20* のペリオドグラム

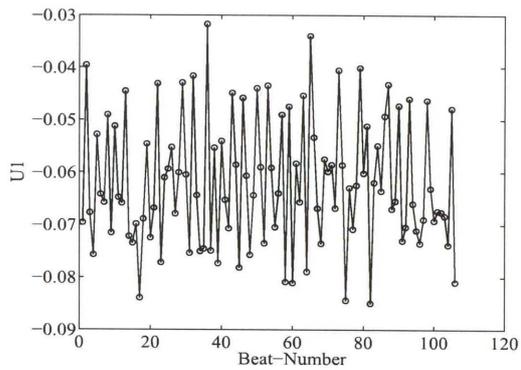


図 6.219: $LOW01(TWVA - 1)$

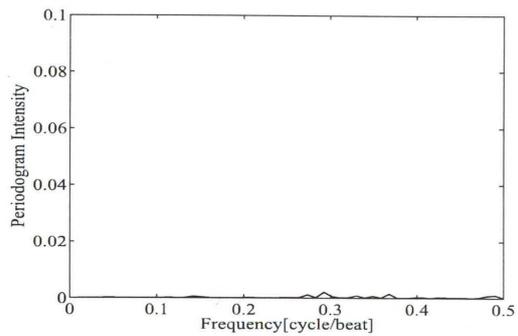


図 6.220: $LOW01$ のペリオドグラム

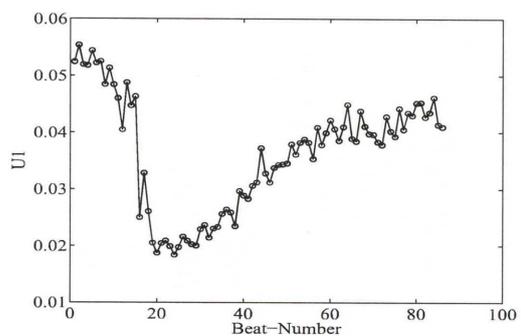


図 6.221: $LOW02(TWVA - 1)$

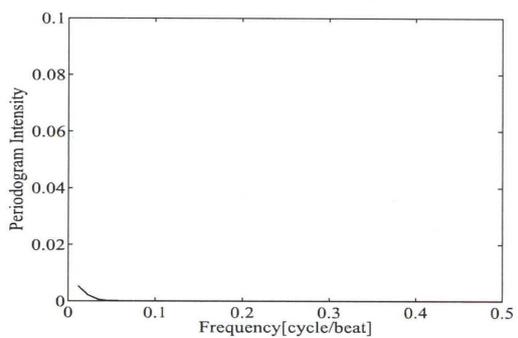


図 6.222: $LOW02$ のペリオドグラム

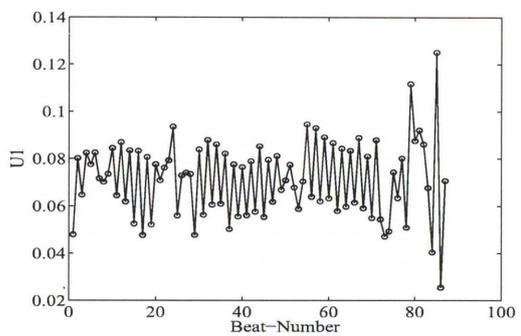


図 6.223: $LOW03(TWVA - 1)$

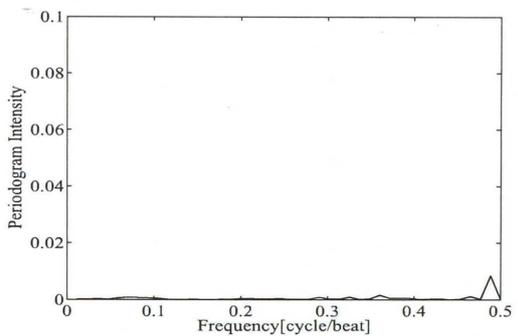


図 6.224: $LOW03$ のペリオドグラム

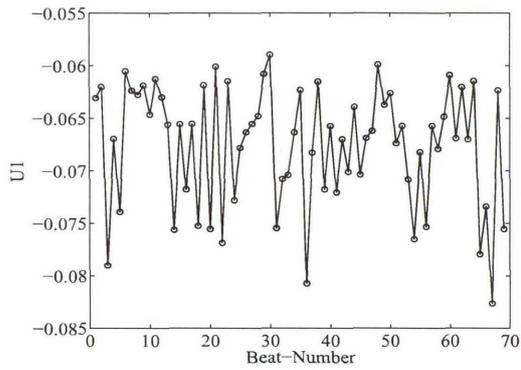


図 6.225: *LOW04(TWVA-1)*

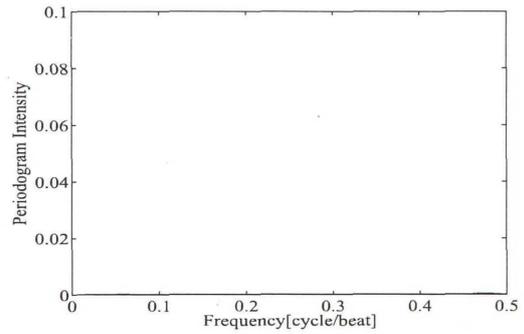


図 6.226: *LOW04* のペリオドグラム

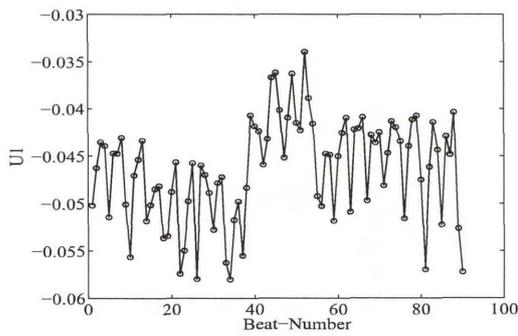


図 6.227: *LOW05(TWVA-1)*

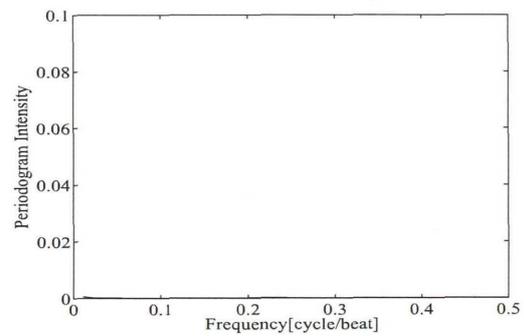


図 6.228: *LOW05* のペリオドグラム

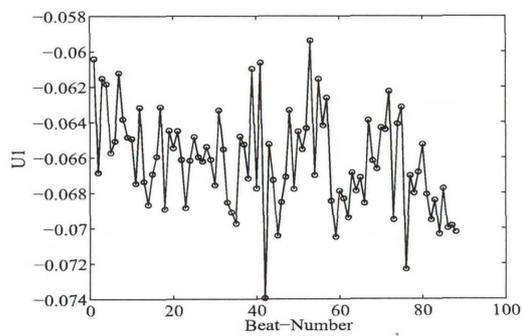


図 6.229: *LOW06(TWVA-1)*

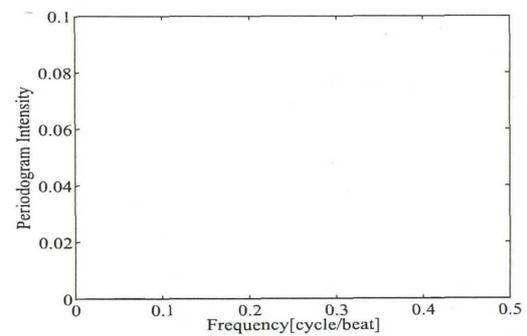


図 6.230: *LOW06* のペリオドグラム

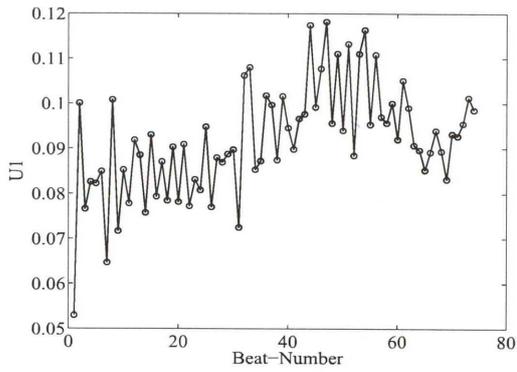


図 6.231: $LOW07(TWVA - 1)$

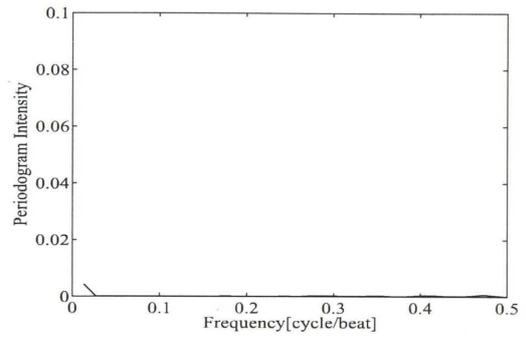


図 6.232: $LOW07$ のペリオドグラム

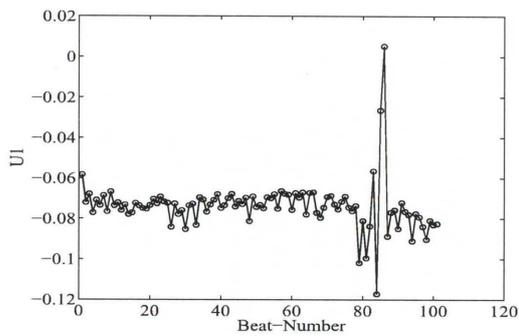


図 6.233: $LOW08(TWVA - 1)$

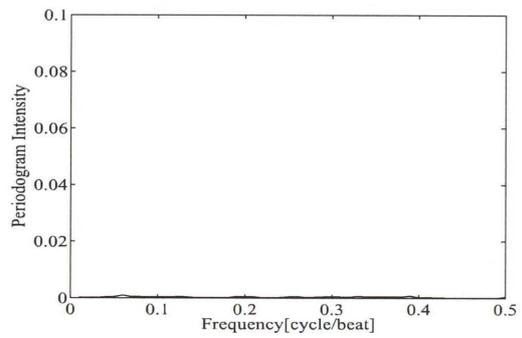


図 6.234: $LOW08$ のペリオドグラム

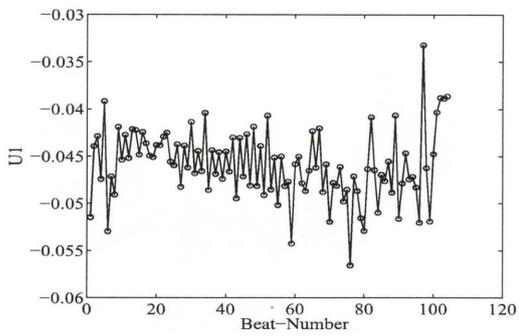


図 6.235: $LOW09(TWVA - 1)$

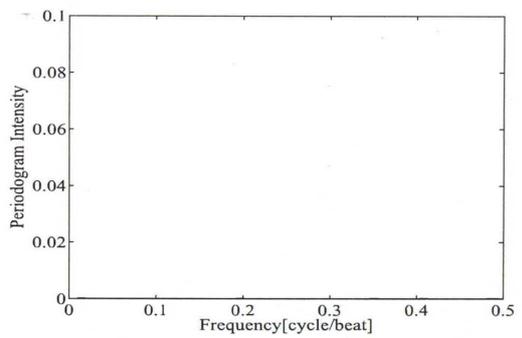


図 6.236: $LOW09$ のペリオドグラム

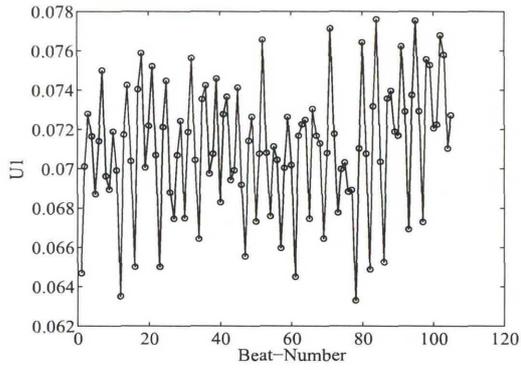


図 6.237: $LOW10(TWVA-1)$

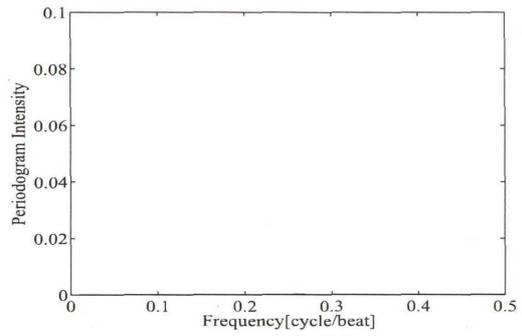


図 6.238: $LOW10$ のペリオドグラム

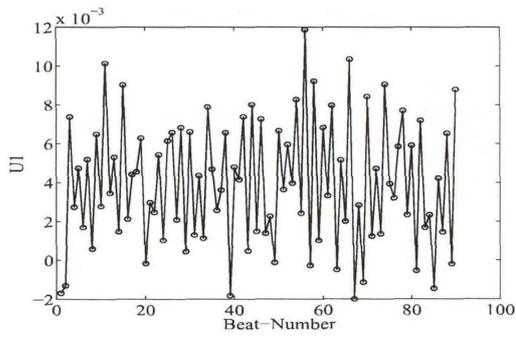


図 6.239: $LOW11(TWVA-1)$

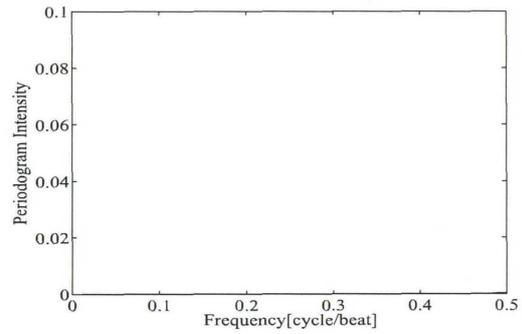


図 6.240: $LOW11$ のペリオドグラム

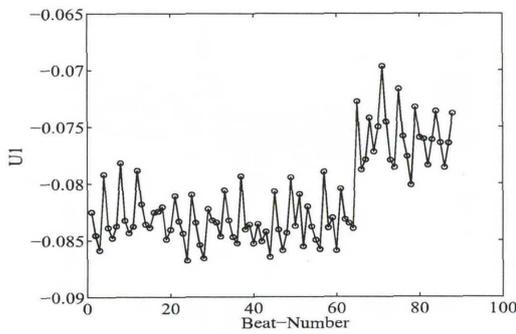


図 6.241: $LOW12(TWVA-1)$

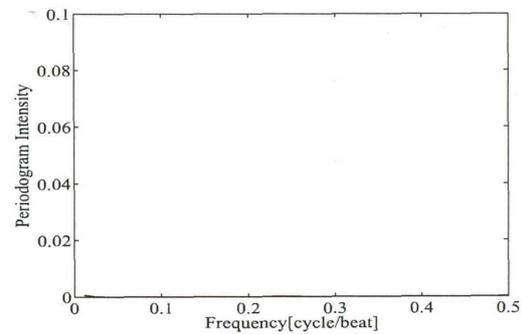


図 6.242: $LOW12$ のペリオドグラム

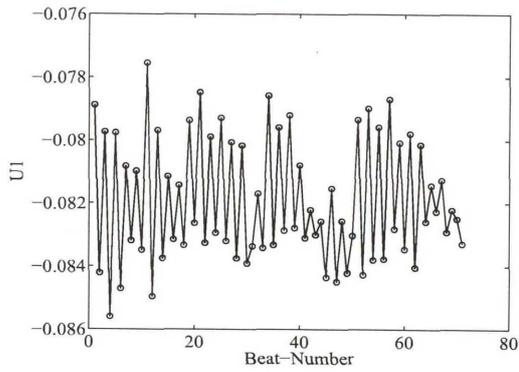


図 6.243: $LOW13(TWVA-1)$

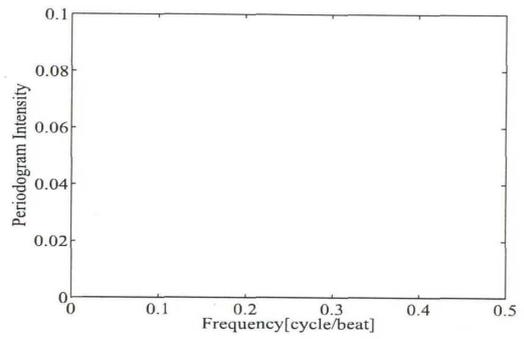


図 6.244: $LOW13$ のペリオドグラム

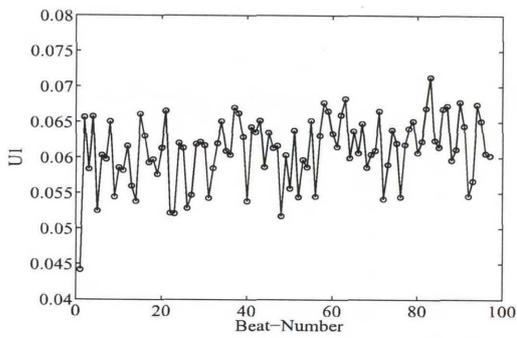


図 6.245: $LOW14(TWVA-1)$

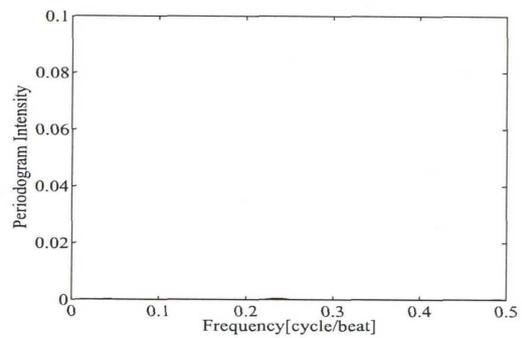


図 6.246: $LOW14$ のペリオドグラム

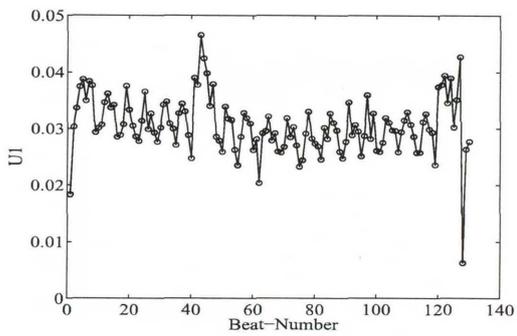


図 6.247: $LOW15(TWVA-1)$

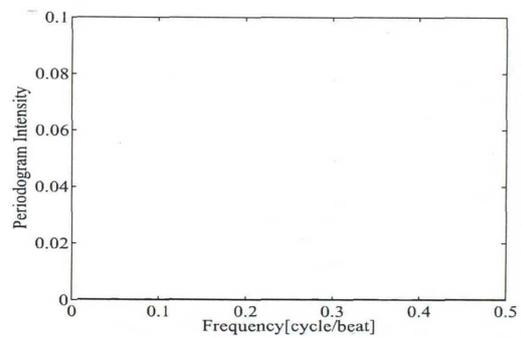


図 6.248: $LOW15$ のペリオドグラム

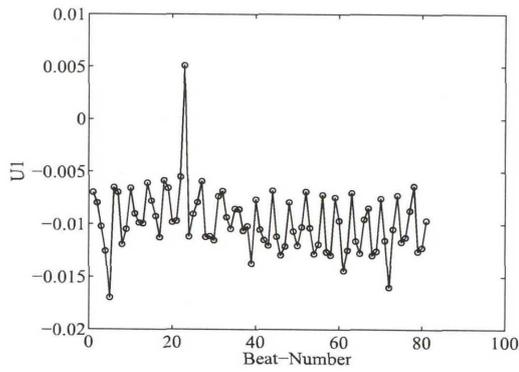


図 6.249: $HIGH01(TWVA - 1)$

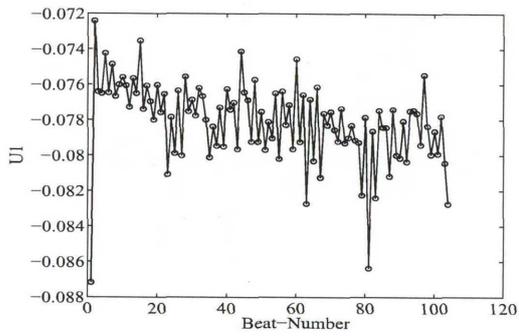
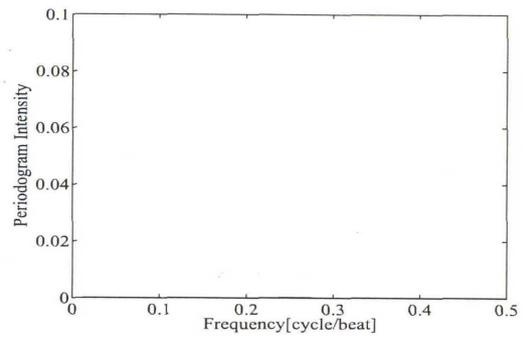


図 6.251: $HIGH02(TWVA - 1)$

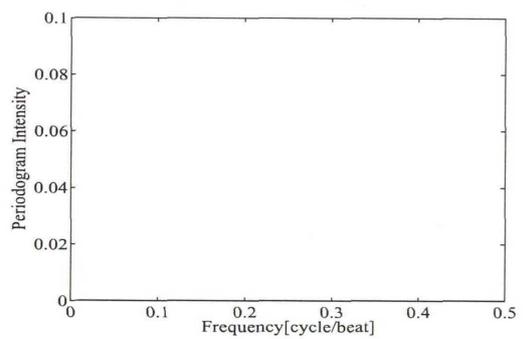


図 6.252: $HIGH02$ のペリオドグラム

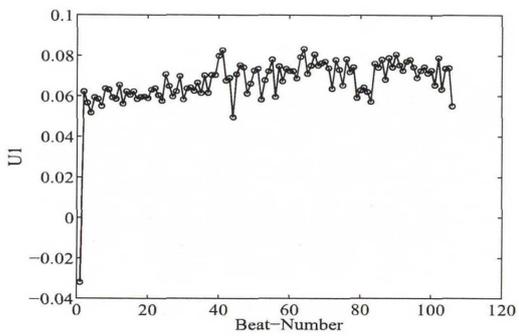


図 6.253: $HIGH03(TWVA - 1)$

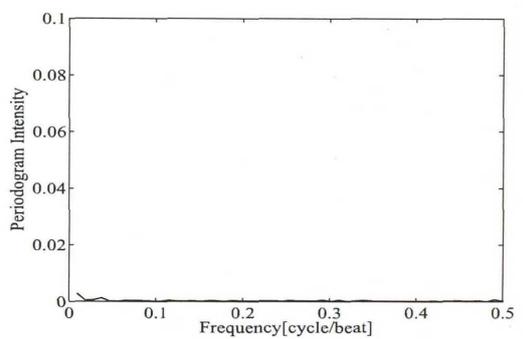


図 6.254: $HIGH03$ のペリオドグラム

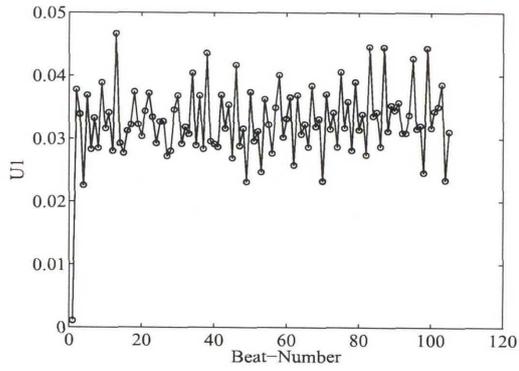


図 6.255: *HIGH04*(*TWVA* - 1)

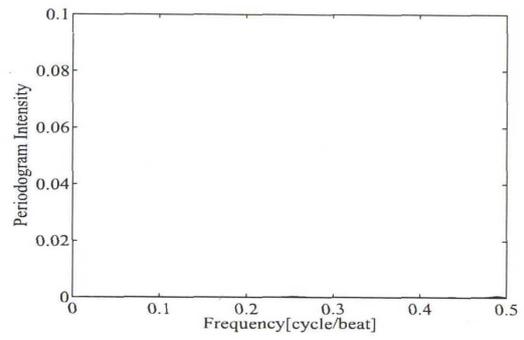


図 6.256: *HIGH04* のペリオドグラム

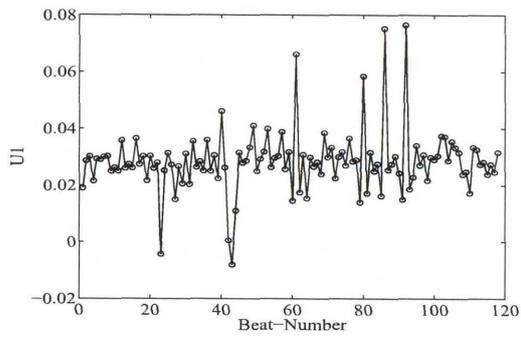


図 6.257: *HIGH05*(*TWVA* - 1)

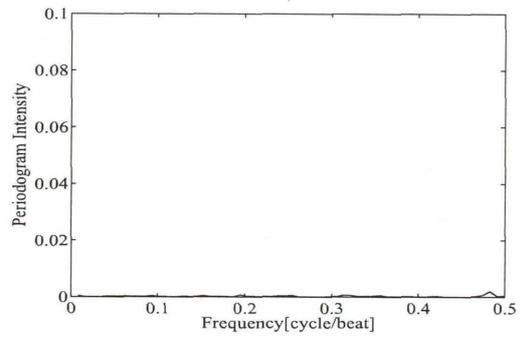


図 6.258: *HIGH05* のペリオドグラム

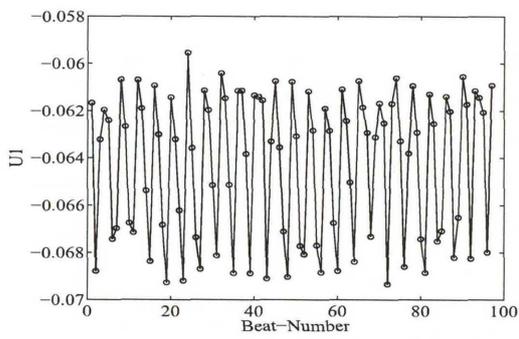


図 6.259: *HIGH06*(*TWVA* - 1)

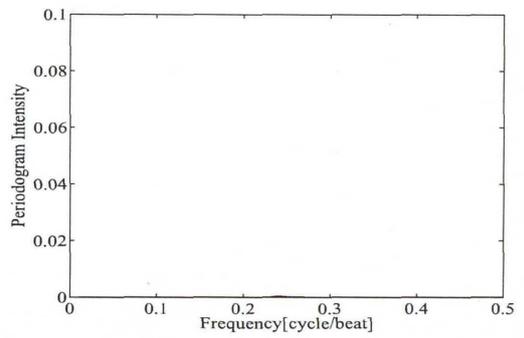


図 6.260: *HIGH06* のペリオドグラム

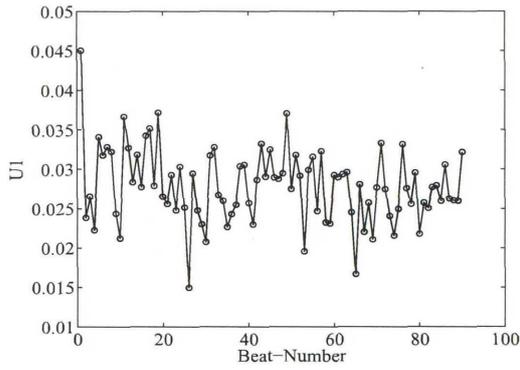


図 6.261: *HIGH07(TWVA-1)*

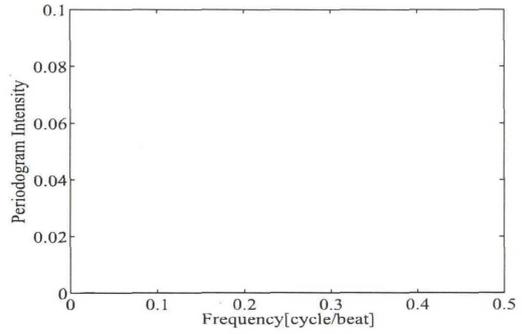


図 6.262: *HIGH07* のペリオドグラム

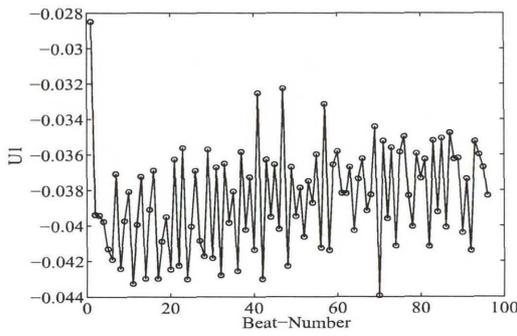


図 6.263: *HIGH08(TWVA-1)*

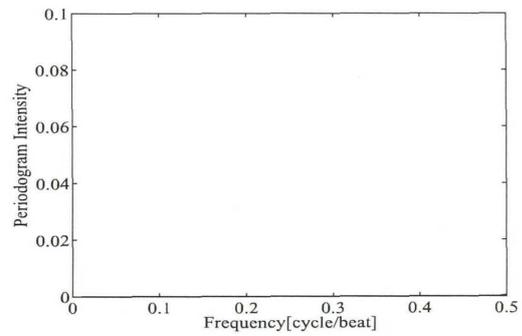


図 6.264: *HIGH08* のペリオドグラム

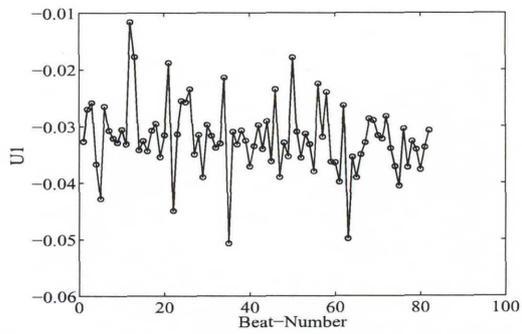


図 6.265: *HIGH09(TWVA-1)*

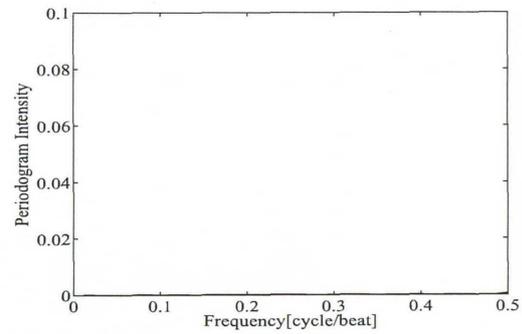


図 6.266: *HIGH09* のペリオドグラム

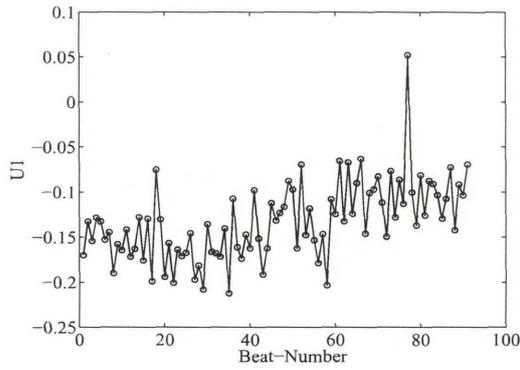


図 6.267: $NML01(TWVA - 2)$

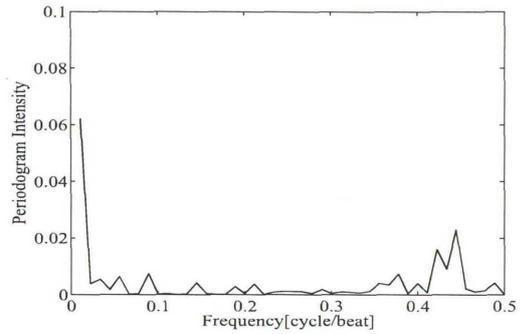


図 6.268: $NML01$ のペリオドグラム

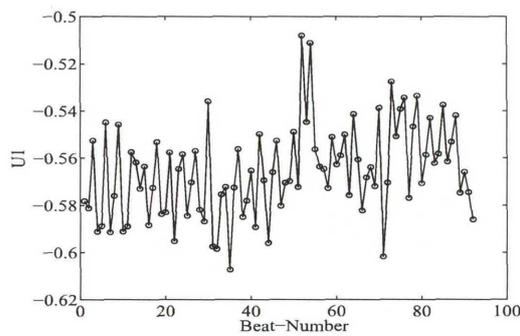


図 6.269: $NML02(TWVA - 2)$

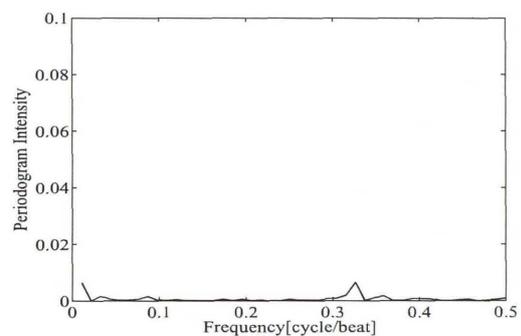


図 6.270: $NML02$ のペリオドグラム

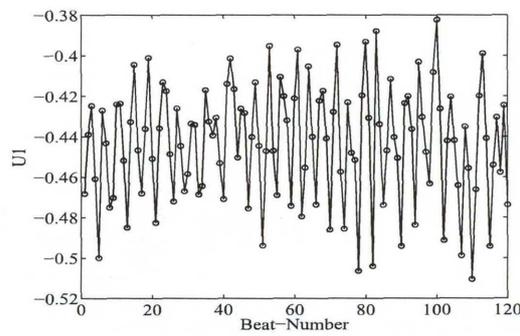


図 6.271: $NML03(TWVA - 2)$

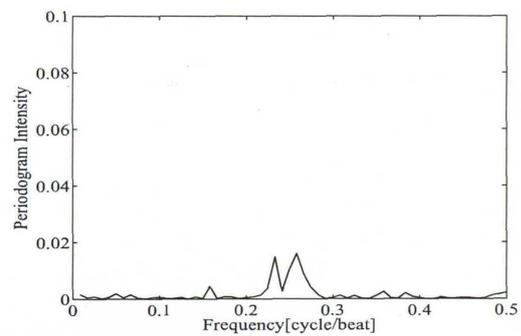


図 6.272: $NML03$ のペリオドグラム

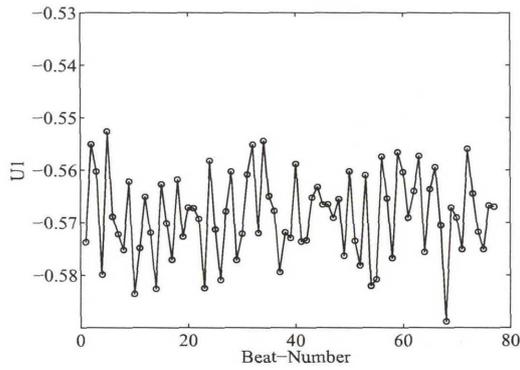


図 6.273: *NML04(TWVA - 2)*

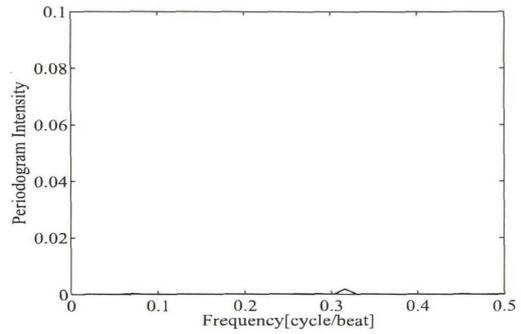


図 6.274: *NML04* のペリオドグラム

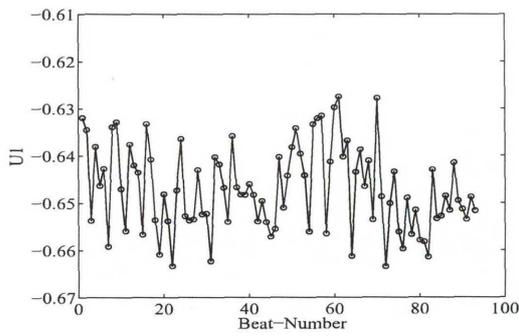


図 6.275: *NML05(TWVA - 2)*

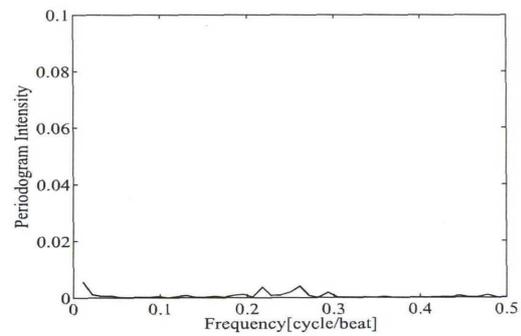


図 6.276: *NML05* のペリオドグラム

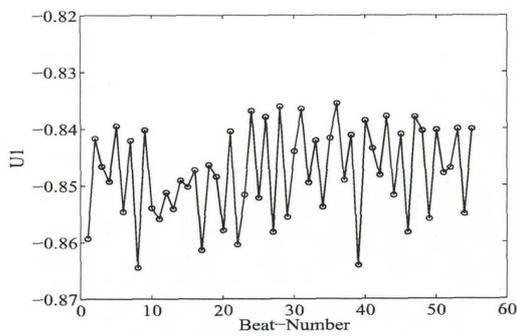


図 6.277: *NML06(TWVA - 2)*

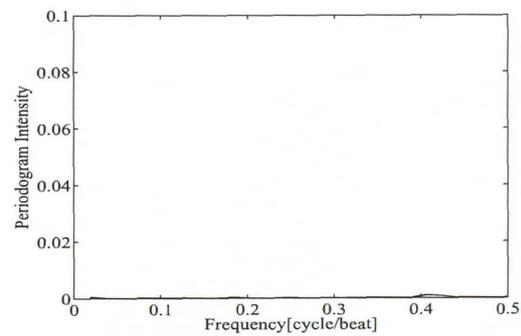


図 6.278: *NML06* のペリオドグラム

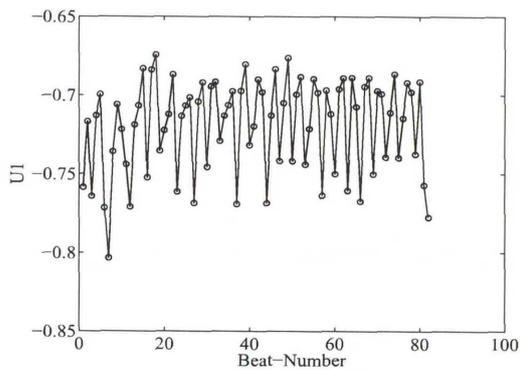


図 6.279: *NML07*(*TWVA* - 2)

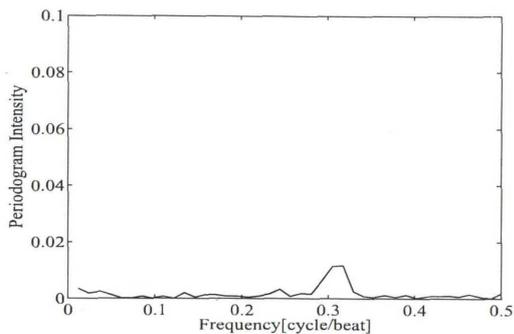


図 6.280: *NML07* のペリオドグラム

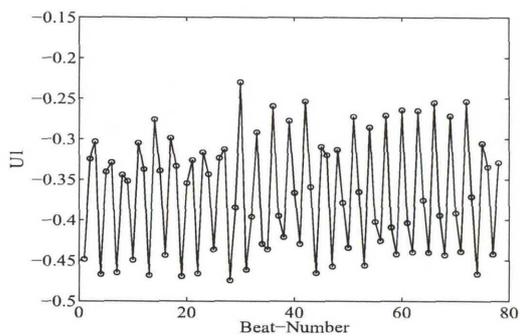


図 6.281: *NML08*(*TWVA* - 2)

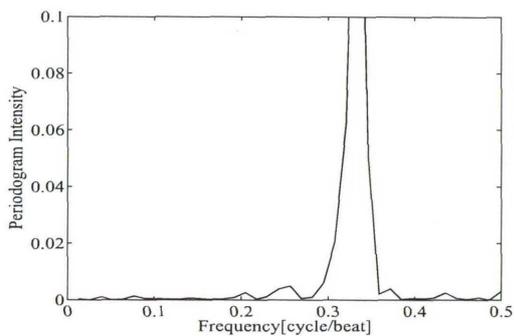


図 6.282: *NML08* のペリオドグラム

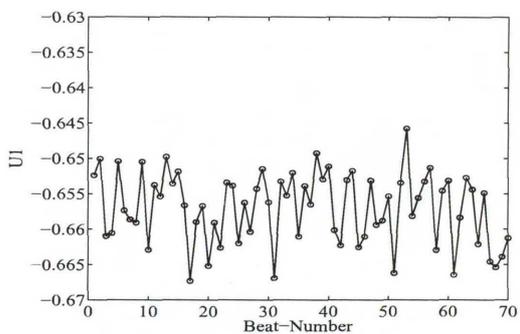


図 6.283: *NML09*(*TWVA* - 2)

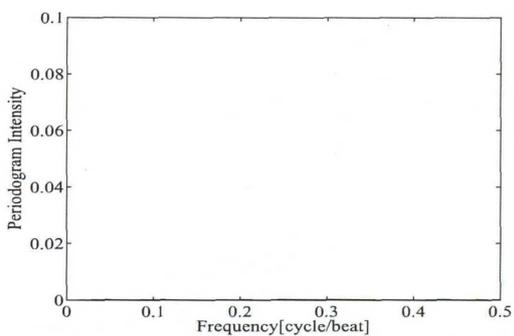


図 6.284: *NML09* のペリオドグラム

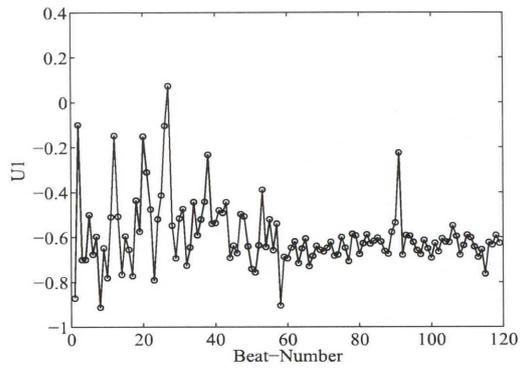


図 6.285: $NML10(TWVA - 2)$

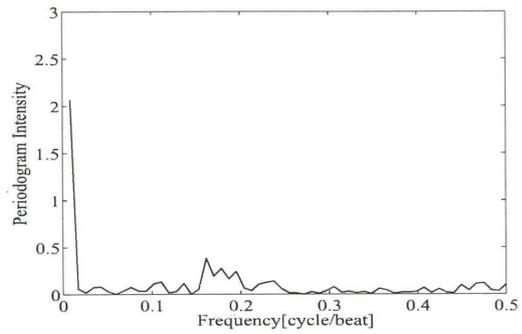


図 6.286: $NML10$ のペリオドグラム

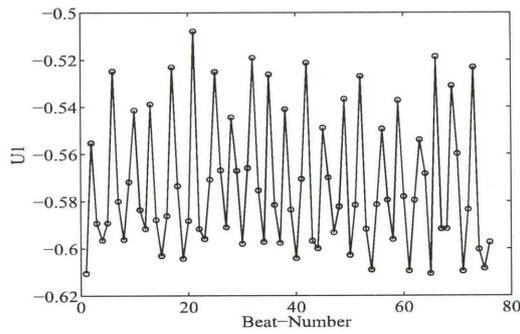


図 6.287: $NML11(TWVA - 2)$

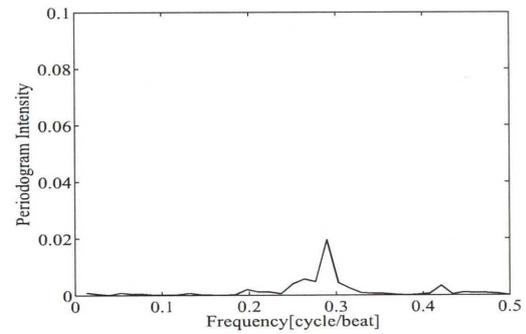


図 6.288: $NML11$ のペリオドグラム

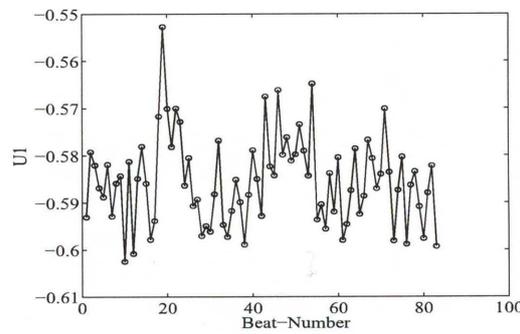


図 6.289: $NML12(TWVA - 2)$

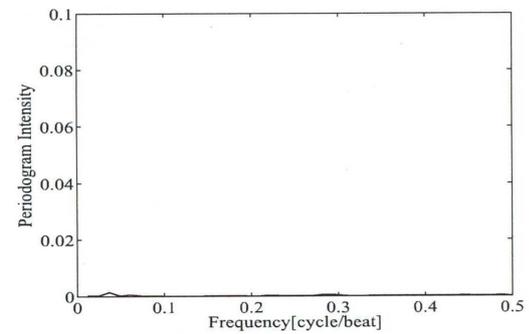


図 6.290: $NML12$ のペリオドグラム

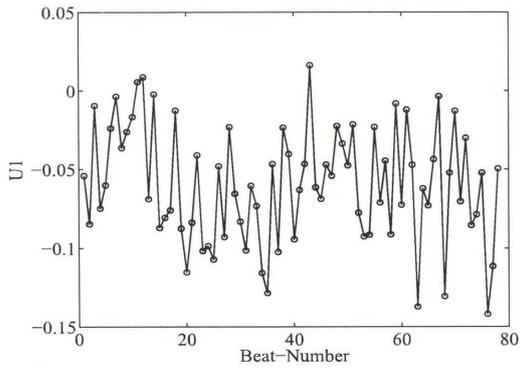


図 6.291: $NML13(TWVA - 2)$

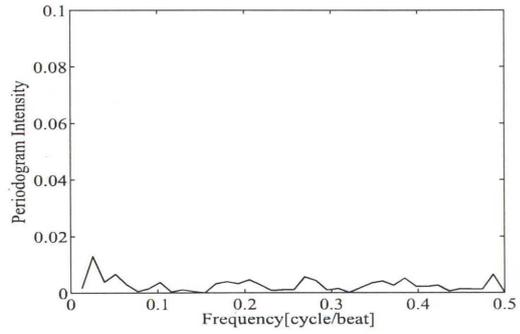


図 6.292: $NML13$ のペリオドグラム

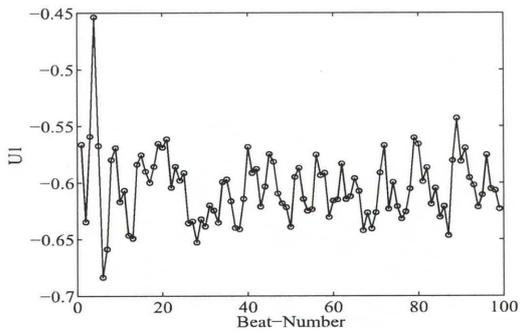


図 6.293: $NML14(TWVA - 2)$

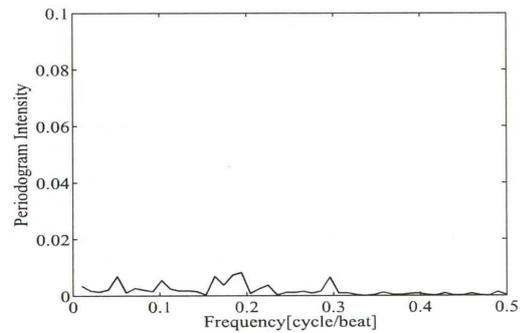


図 6.294: $NML14$ のペリオドグラム

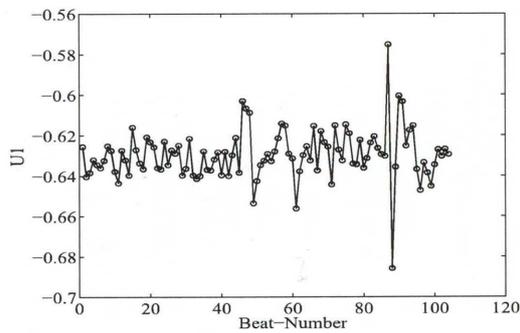


図 6.295: $NML15(TWVA - 2)$

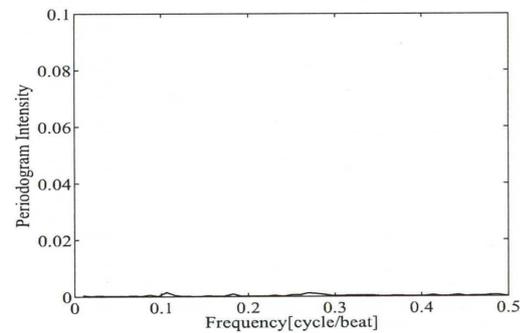


図 6.296: $NML15$ のペリオドグラム

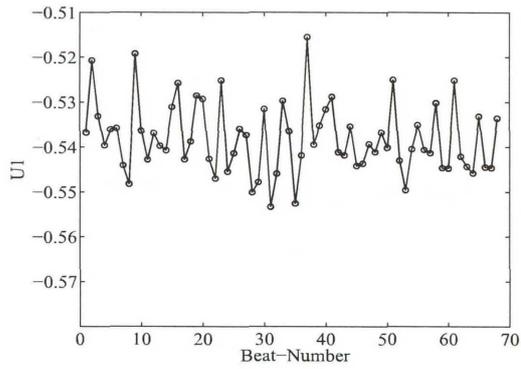


図 6.297: $NML16(TWVA-2)$

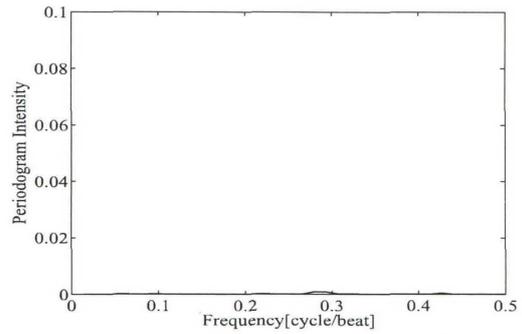


図 6.298: $NML16$ のペリオドグラム

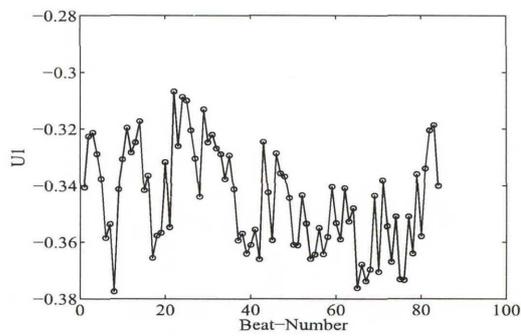


図 6.299: $NML17(TWVA-2)$

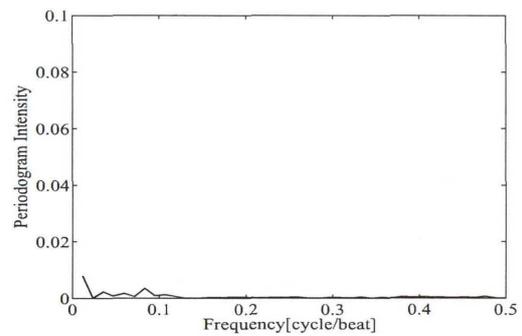


図 6.300: $NML17$ のペリオドグラム

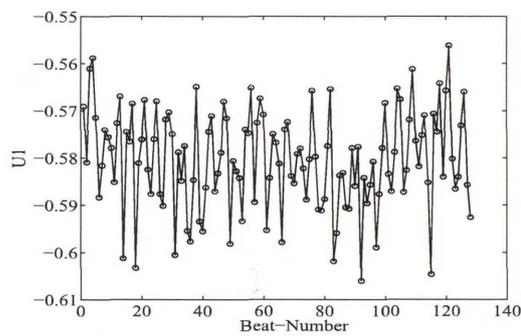


図 6.301: $NML18(TWVA-2)$

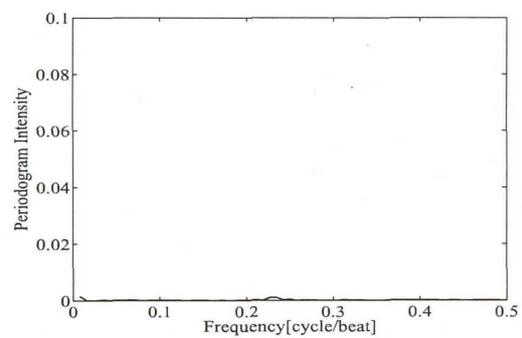


図 6.302: $NML18$ のペリオドグラム

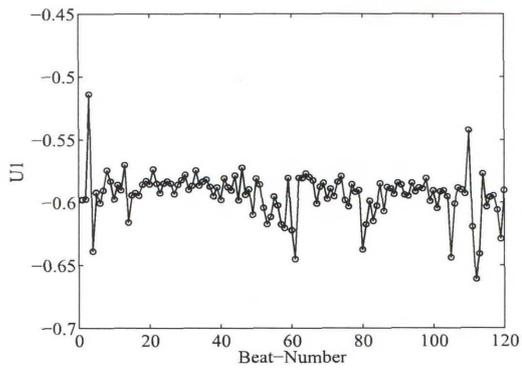


図 6.303: $NML19(TWVA - 2)$

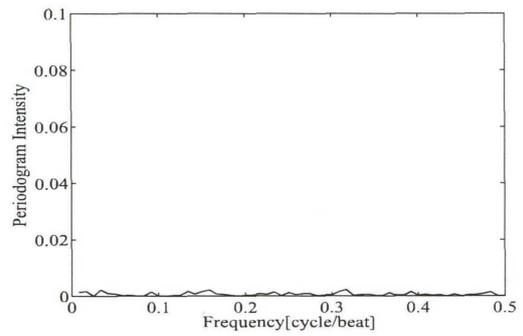


図 6.304: $NML19$ のペリオドグラム

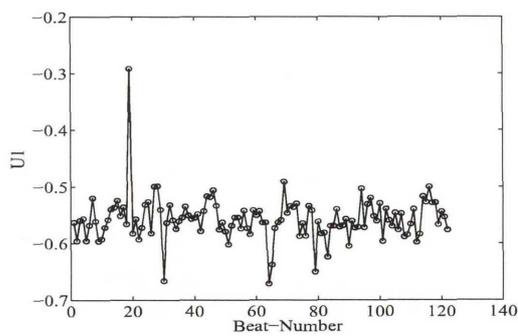


図 6.305: $NML20(TWVA - 2)$

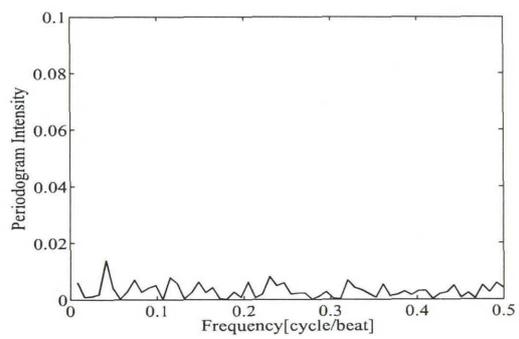


図 6.306: $NML20$ のペリオドグラム

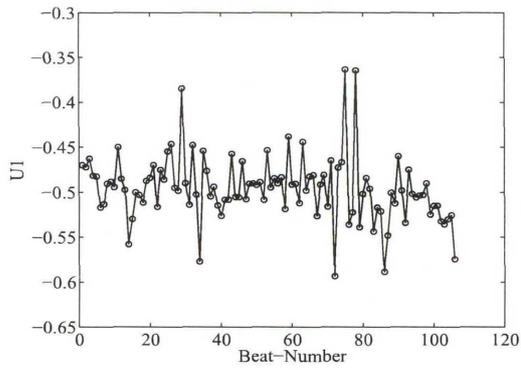


図 6.307: $LOW01(TWVA - 2)$

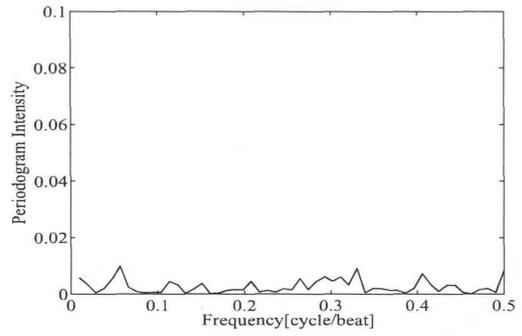


図 6.308: $LOW01$ のペリオドグラム

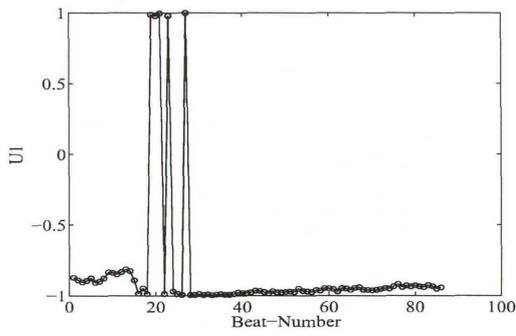


図 6.309: $LOW02(TWVA - 2)$

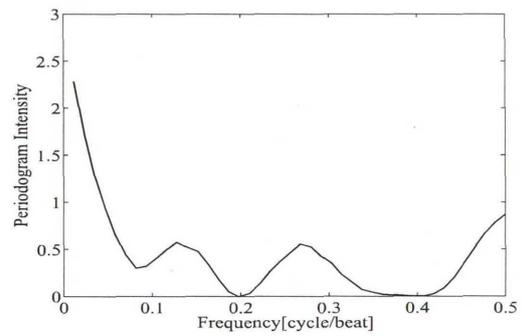


図 6.310: $LOW02$ のペリオドグラム

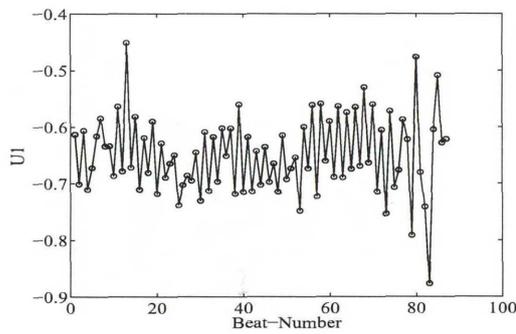


図 6.311: $LOW03(TWVA - 2)$

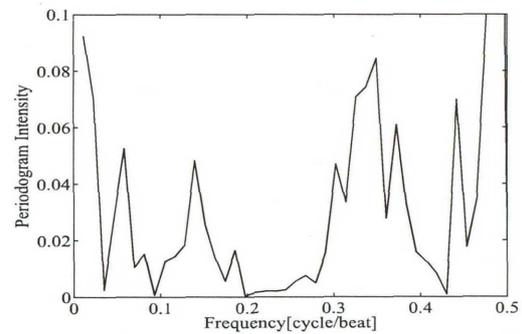


図 6.312: $LOW03$ のペリオドグラム

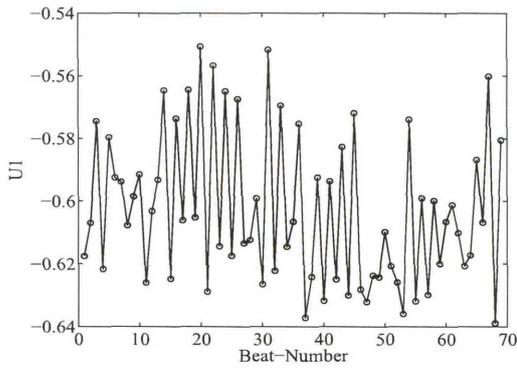


図 6.313: *LOW04(TWVA - 2)*

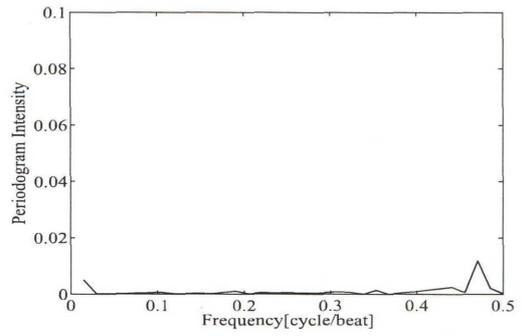


図 6.314: *LOW04* のペリオドグラム

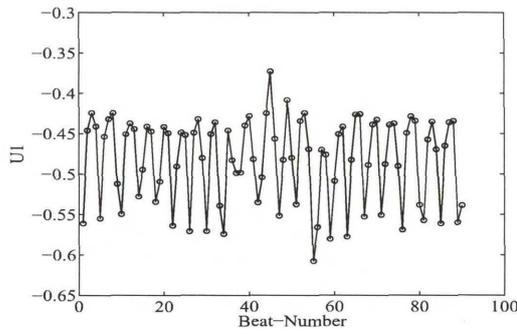


図 6.315: *LOW05(TWVA - 2)*

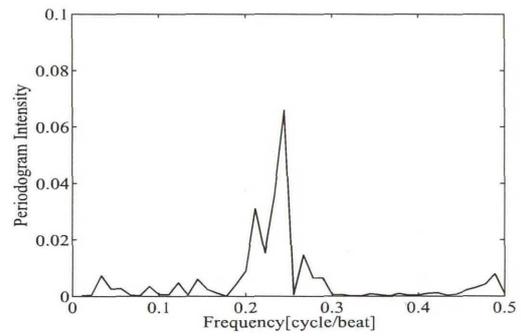


図 6.316: *LOW05* のペリオドグラム

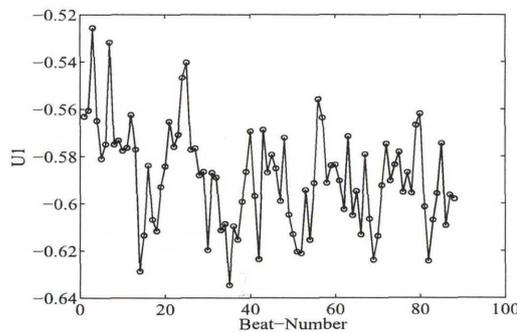


図 6.317: *LOW06(TWVA - 2)*

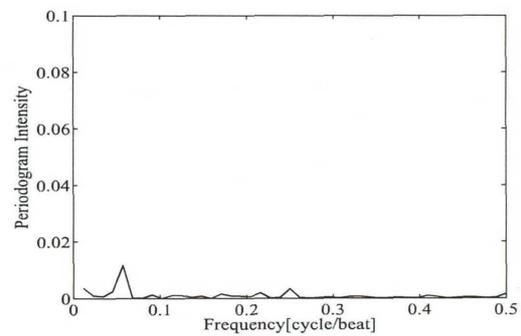


図 6.318: *LOW06* のペリオドグラム

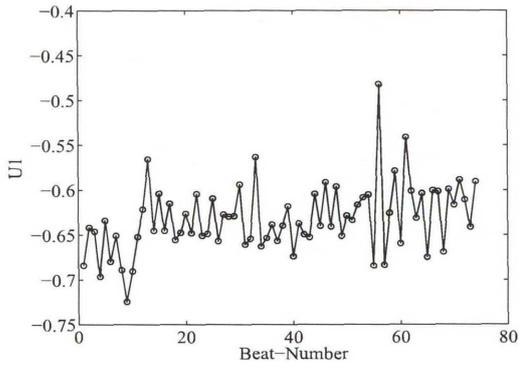


図 6.319: *LOW07(TWVA - 2)*

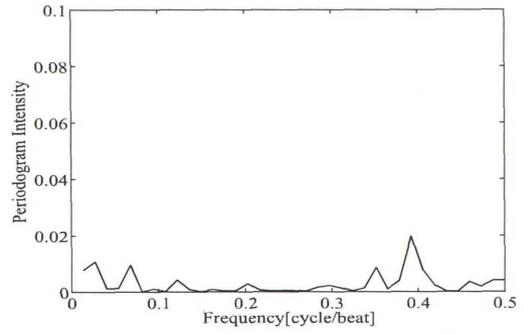


図 6.320: *LOW07* のペリオドグラム

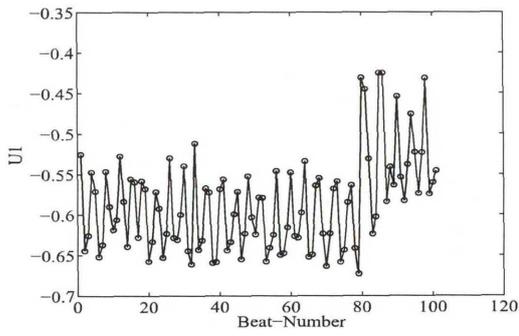


図 6.321: *LOW08(TWVA - 2)*

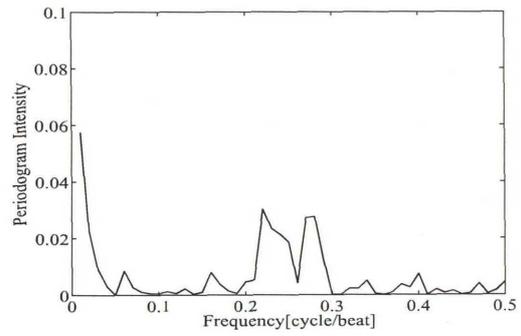


図 6.322: *LOW08* のペリオドグラム

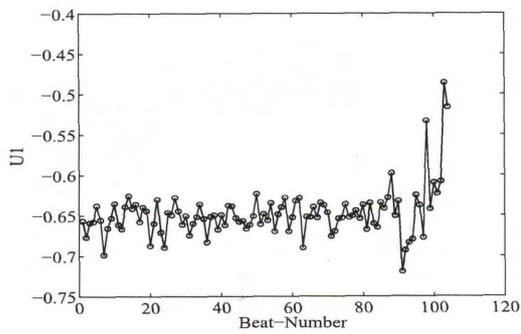


図 6.323: *LOW09(TWVA - 2)*

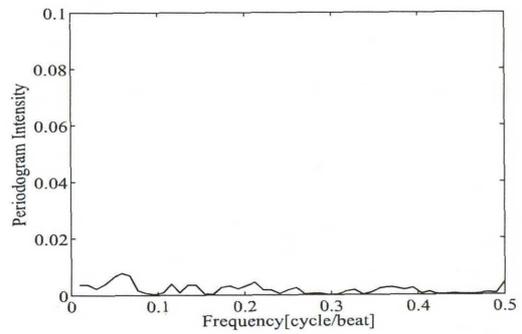


図 6.324: *LOW09* のペリオドグラム

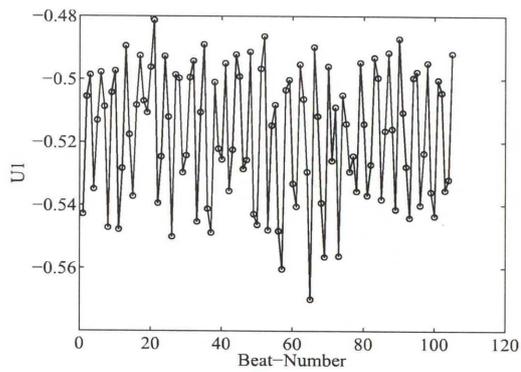


図 6.325: $LOW10(TWVA-2)$

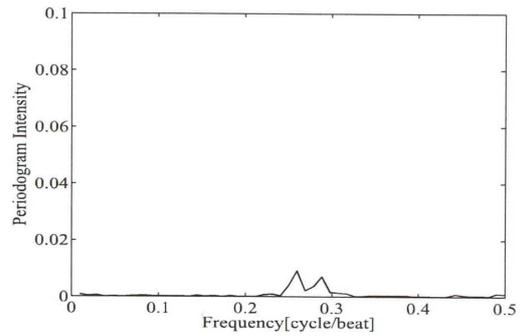


図 6.326: $LOW10$ のペリオドグラム

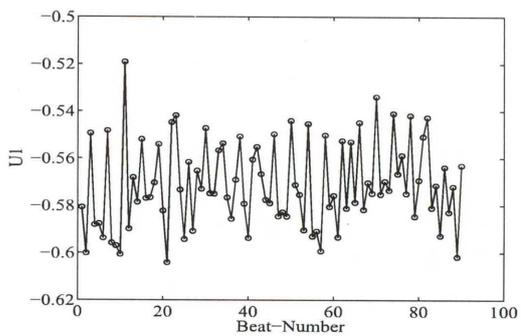


図 6.327: $LOW11(TWVA-2)$

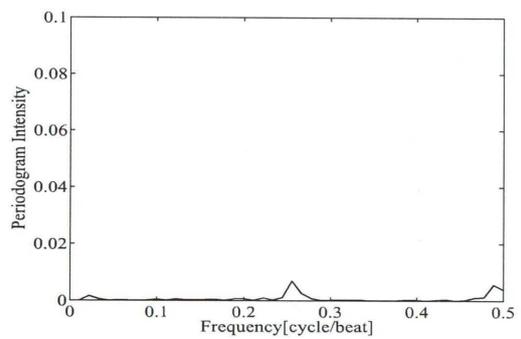


図 6.328: $LOW11$ のペリオドグラム

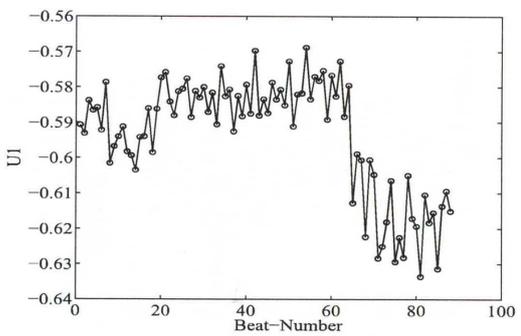


図 6.329: $LOW12(TWVA-2)$

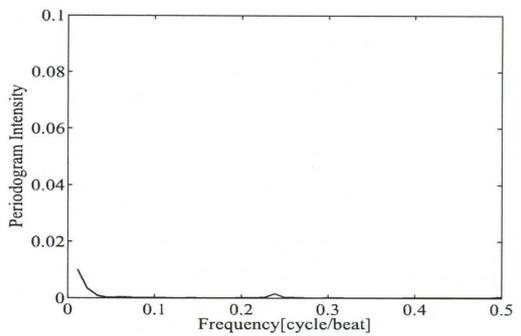


図 6.330: $LOW12$ のペリオドグラム

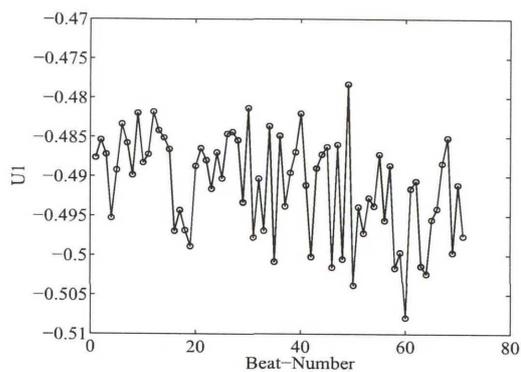


図 6.331: $LOW13(TWVA - 2)$

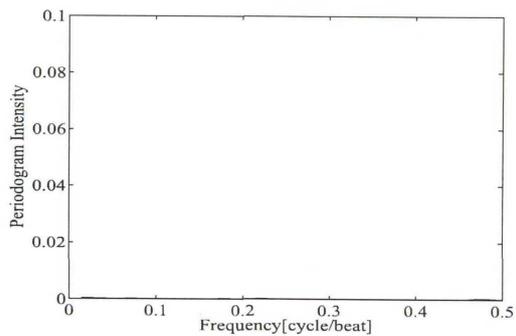


図 6.332: $LOW13$ のペリオドグラム

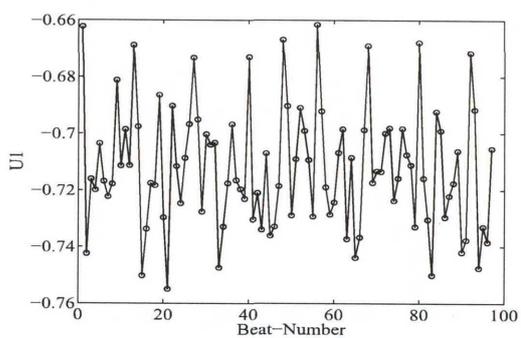


図 6.333: $LOW14(TWVA - 2)$

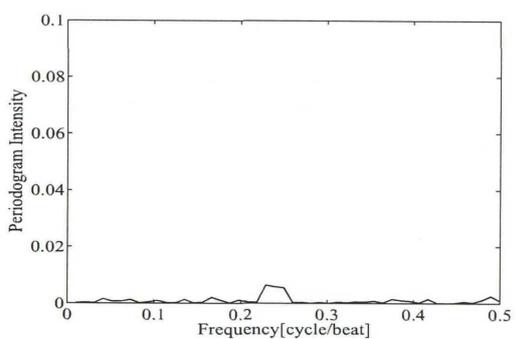


図 6.334: $LOW14$ のペリオドグラム

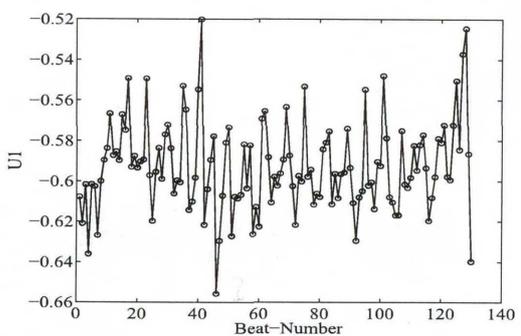


図 6.335: $LOW15(TWVA - 2)$

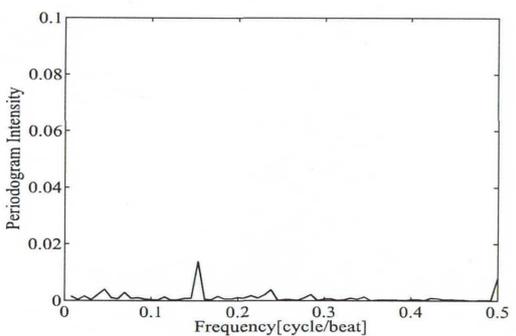


図 6.336: $LOW15$ のペリオドグラム

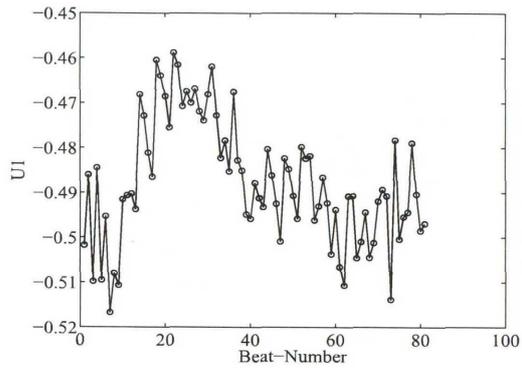


図 6.337: *HIGH01*(*TWVA* - 2)

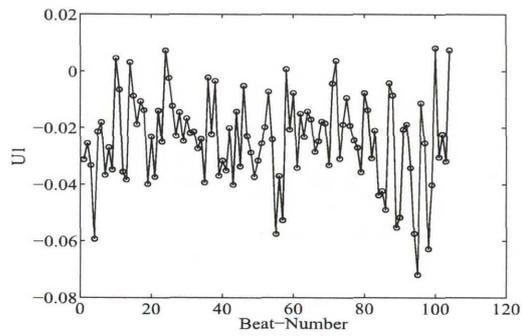
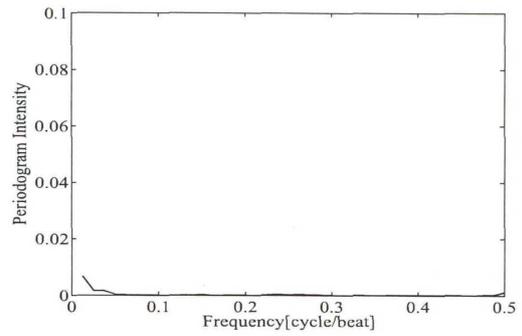


図 6.339: *HIGH02*(*TWVA* - 2)

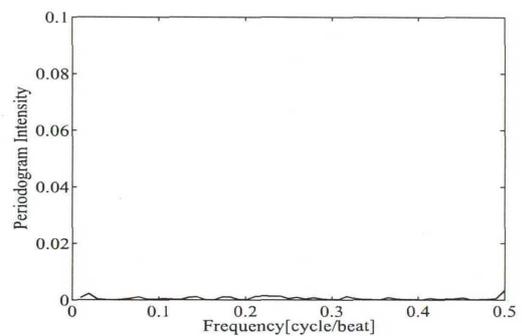


図 6.340: *HIGH02* のペリオドグラム

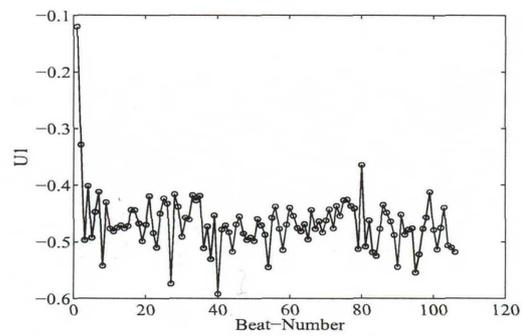


図 6.341: *HIGH03*(*TWVA* - 2)

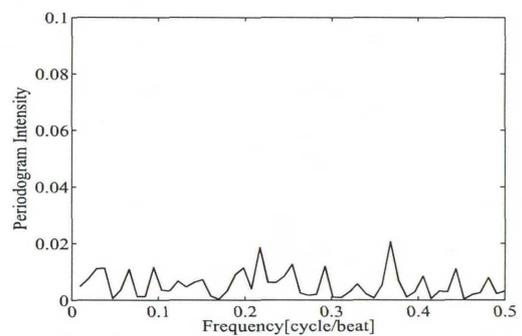


図 6.342: *HIGH03* のペリオドグラム

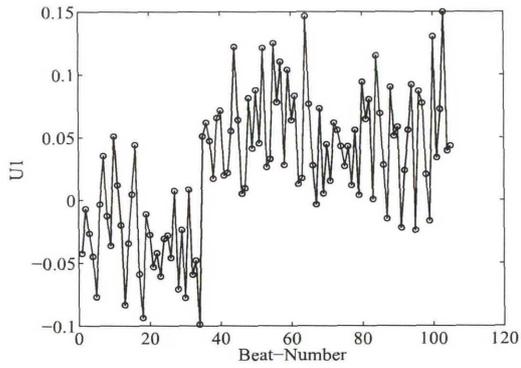


図 6.343: HIGH04(TWVA-2)

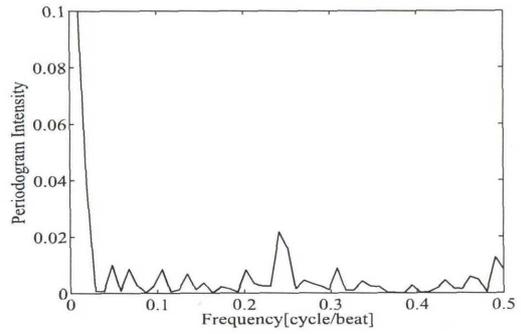


図 6.344: HIGH04 のペリオドグラム

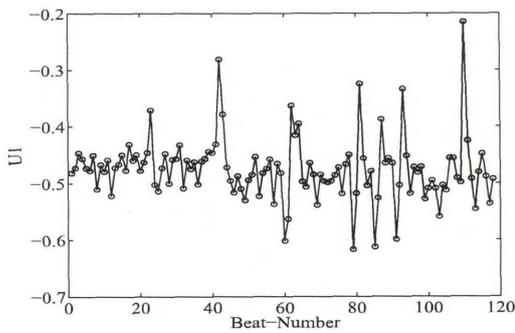


図 6.345: HIGH05(TWVA-2)

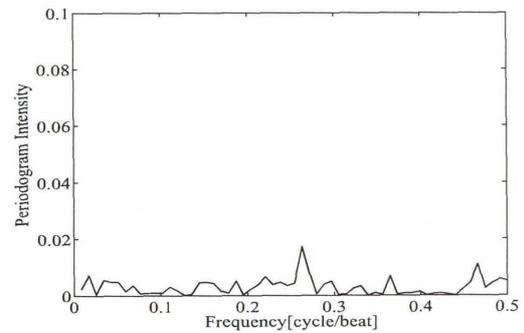


図 6.346: HIGH05 のペリオドグラム

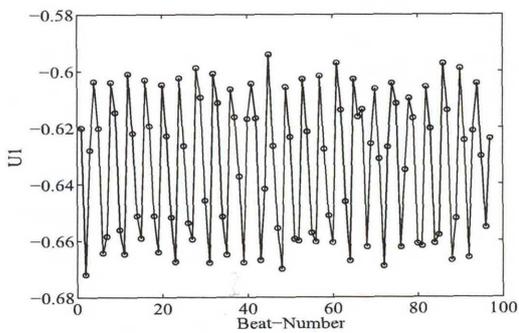


図 6.347: HIGH06(TWVA-2)

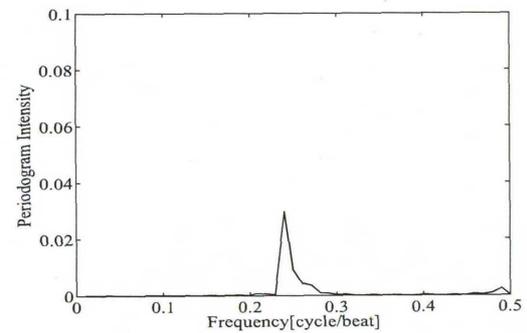


図 6.348: HIGH06 のペリオドグラム

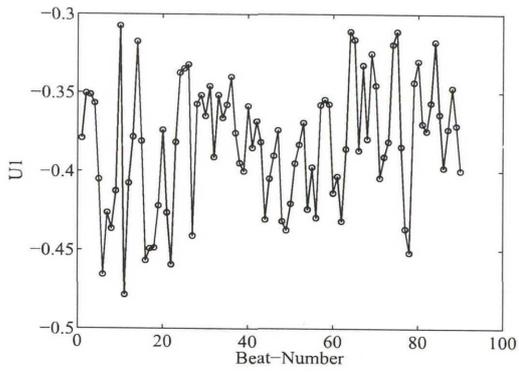


図 6.349: *HIGH07(TWVA-2)*

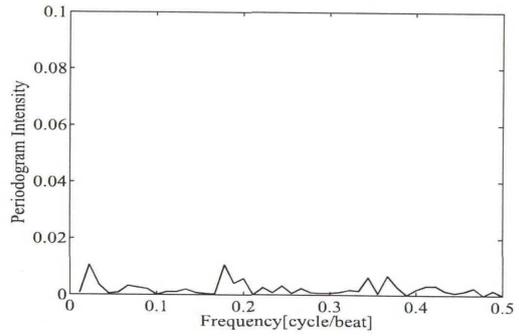


図 6.350: *HIGH07* のペリオドグラム

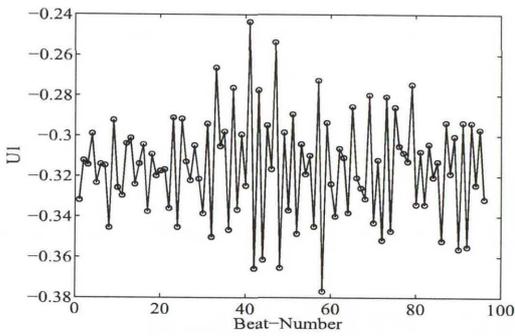


図 6.351: *HIGH08(TWVA-2)*

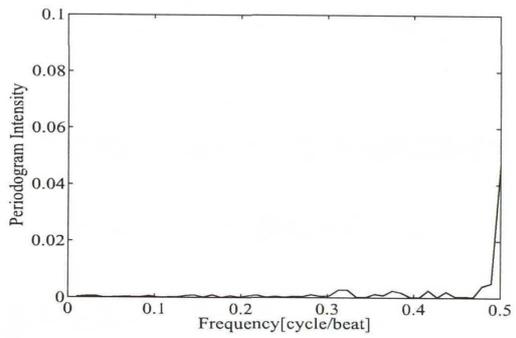


図 6.352: *HIGH08* のペリオドグラム

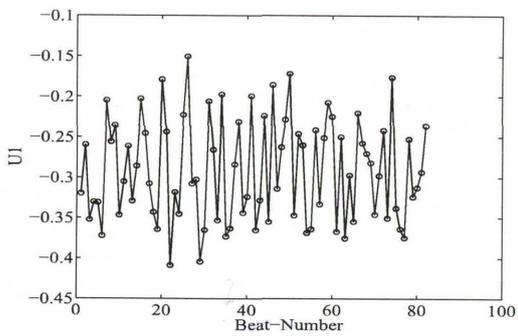


図 6.353: *HIGH09(TWVA-2)*

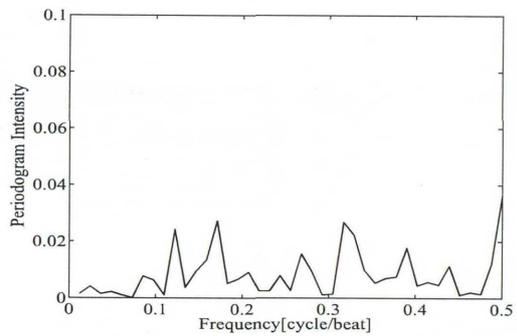


図 6.354: *HIGH09* のペリオドグラム

以下に $TWVA-1$ と $TWVA-2$ のボックスプロットによる比較結果を示す.

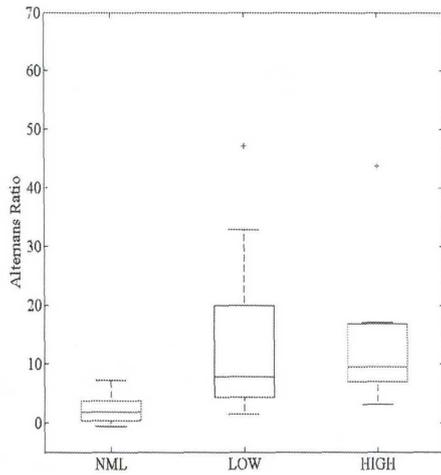


図 6.355: $TWVA-1$ の AR 値

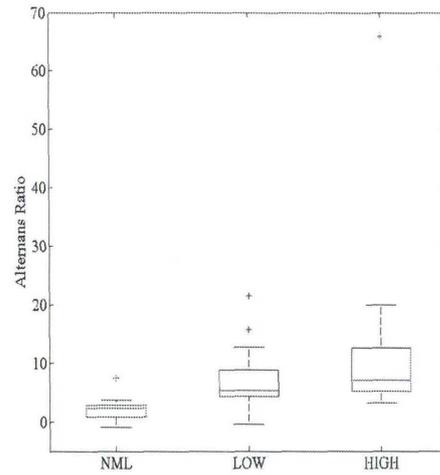


図 6.356: $TWVA-2$ の AR 値分類

次に特徴空間と同様に, *wilcoxon* 検定を行った結果を以下の表に示す.

表 6.3: AR に対する *wilcoxon* 検定結果 P ($TWVA-1$)

$NML - LOW$	$NML-HIGH$	$LOW-HIGH$
2.02×10^{-4}	1.48×10^{-4}	5.51×10^{-1}

表 6.4: AR に対する *wilcoxon* 検定結果 P ($TWVA-2$)

$NML - LOW$	$NML-HIGH$	$LOW-HIGH$
1.00×10^{-5}	6.79×10^{-5}	8.12×10^{-1}

第7章 考察

7.1 特徴空間

結果 6.1 の表 6.1 と表 6.2 より, 両パターン共に *nml* と *low*, *nml* と *high* で有意差があることを確認できた. しかし, 図 6.177 と図 6.178 のボックスプロットによる視覚的判断から, 結果が非常に類似しているため有意的な比較がし難い. そこで, 両方法の結果から *nml* と *low*, *high* を隔てる *AR* の *theshold* 値 (*th*) を「3」に設定し, *th* 以上を *TWA* 陽性として評価し, どちらが多く分類出来るか比較した. 以下に *AR* を正常者と異常者で分類した図と, 分類表を示す. 図は *y* 軸において方対数表示とする. また, 今回は *LOW* と *HIGH* をまとめて *TWA* と称する.

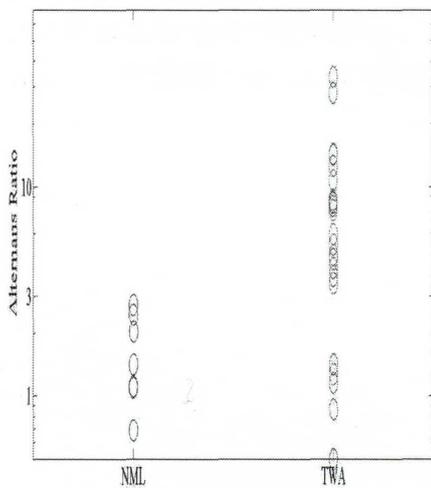


図 7.1: *TWVA* - 1 の *AR* 値

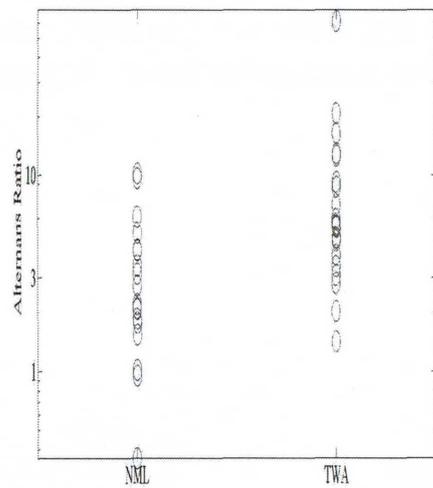


図 7.2: *TWVA* - 2 の *AR* 値分類

表 7.1: 分類表 ($th > 3$)

	NML 群	TWA 群
TWVA-2	8/20 件	20/25 件
TWVA-1	1/20 件	20/25 件

表 7.1 より, TWA 群は両パターン共に 20 件が TWA 陽性と判断できた. しかし nml では $TWVA-2$ において 8 件も AR 値が 3 を超えている. このことから, $TWVA-2$ の方が誤検出を起こす可能性が高くなると考えられる. またこれに関して, ランクの削減と復元率に焦点を当てる. これは特異値分解より得られた特異値を用いて, 相対近似誤差式より次元の縮尺によって損失がどの程度か図る方法である. 以下の表 7.2 では次元の縮尺を 1 にした時の復元率と次元の縮尺を 2 にした時の復元率を示す.

表 7.2: 復元率

	TWVA-2	TWVA-1
ランク=1	88.9%	70.0%件
ランク=2	97.9%	83.6%件

この表の結果より, 縮尺=2 において, $TWVA-2$ の方が高い復元率を得ているが, 第一成分に対する復元率の比重が高いため第二成分が雑音成分となり特徴空間の精度を悪くしたと推測する. よって特徴空間は $TWVA-1$ の方が精度が高くなると考えられる.

7.2 特徴系列

特徴系列も特徴空間と同様に表 6.3 と 6.4 から両パターンで *nml* と *low*, *nml* と *high* で有意差があった. さらに比較するため, 特徴空間同様 *AR* 値の *Thleshold(th)* を 3 に設定して分類する. 以下に *AR* を *NML* と *TWA* で分類した図と, 分類表を示す. 図は *y* 軸において方対数表示とする.

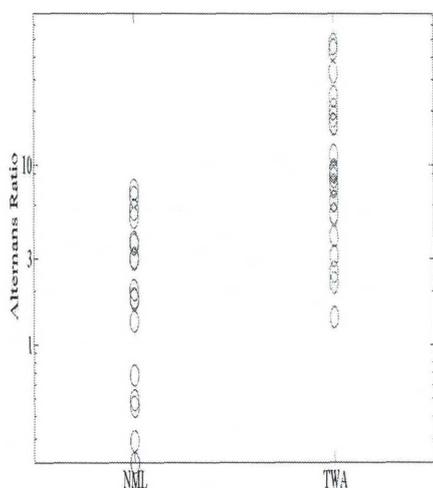


図 7.3: *TWVA-1* の *AR* 値

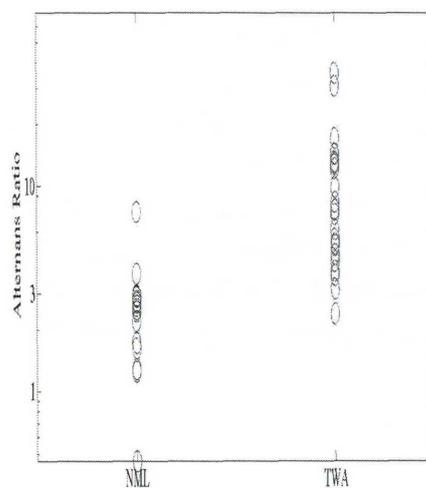


図 7.4: *TWVA-2* の *AR* 値分類

表 7.3: 分類表 ($th > 3$)

	NML 群	TWA 群
TWVA-2	2/20 件	24/25 件
TWVA-1	7/20 件	20/25 件

表 7.3 より, *TWVA-2* の方は正常者で 2 件, 異常者で 24 件の分類が確認できた. このことから, 特徴系列は *TWVA-2* の方が精度高く *TWA* 検出が出来ると考えられる. これは表 7.2 の復元率からも, 第一成分においては *TWVA-2* の値が高いことから言える.

結論

本研究では *SVD* を用いた 2 つの *TWA* 検出手法を提案した。結果より、両パターンでの *SVD* において、健常者群と心疾患患者群の間で、*TWA* の指標として提案した *AR* で有意差がみられた。そして今回の比較から、特徴空間では全拍の T 波で *SVD* をする手法の方が精度が高く、特徴系列では一拍の T 波で *SVD* をする手法の方が精度が高いことがわかった。今後は、健常者群と心疾患患者群の比較で、*AR* における閾値を統計的に差があると考えられる 3 に設定したが、被験者を増やしより閾値をより正確に決める必要があると考える。また、特徴空間と特徴系列の特性をそれぞれ詳細に検討し、両手法の特徴を生かした相互的な手法を開発したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、様々な面で多くの方々に御協力頂きました。特に御指導、御教授頂いた八名 和夫教授、小野 卓哉氏に深く感謝の意を表したいと思えます。また、研究を進めるにあたり数多くの御指導、御協力いただいた野澤 優紀氏ならびに諸先輩方、そして八名研究室所属の皆様に心から感謝致します。

関連図書

- [1] 歸山薫 ”特異値分解による特徴ベクトルを利用した心電図T波オルタナンス検出手法の提案” 2009年度法政大学大学院工学研究科情報電子工学専攻修士論文, pp4-5, pp121-125(2010-3)
- [2] 野澤優紀 ”分割位相曲線距離に基づく心電図T波オルタナンス検出手法の提案” 2010年度法政大学大学院工学研究科情報電子工学専攻修士論文, pp7, pp78-80(2011-3)
- [3] Laura Burattini, Wojciech Zareba, Roberto Burattini ”Automatic detection of microvolt T-wave alternans in Holter recordings : Effect of baseline wandering” Biomedical Signal Processing and Control 1,pp162-168(2006)
- [4] TW shen,YT Tsao,”An INproved Spectral Method of Detecting and Quantifying T-Wave Alternans for SCD RISK Evaluation” Computer In Cardiology ,pp609-612(2008)
- [5] Zhao Shen,Chao Hu,Jingsheng Liao,” An Algorism of ST Segment Classification and Detection” Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Automation and Logistics August ,pp559-564(2010)
- [6] 西部俊広”心臓突然死リスク指標としてのQT-RR間隔相関性”2011年度法政大学理工学部応用情報学科卒業論文,pp15(2011-3)
- [7] David S. RosenBAUM,”ELECTRICAL ALTERNANS AND VULNERABILITY TO VENTRICULAR ARRHYTHMIAS”THE ENGLAND JOUNALnOF MEDICINE,pp235-241(1994)