

本資料は 年 月 日付けで登録区分、

変更する。

01.10.-4

[技術情報室]

オンライン 臨界安全監視システムの 基礎研究(Ⅳ)

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

1995年3月

摂南大学 工学部 電気工学科

山田 澄

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

この資料は、動燃事業団社内における検討を目的とする社内資料です。
ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また、第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また、今回の開示目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。
〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字松村4-33
動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所
技術開発推進部・技術管理課



オンライン臨界安全監視システムの 基礎研究（Ⅳ）

山田 澄*

要 旨

安価で即応性の良い臨界安全監視システムの開発が望まれている。本研究は未臨界体系で観測される中性子信号揺らぎを用いてオンラインで未臨界度を推定しようとする試みであり、そのための基礎的研究を平成3年度より行ってきた。

未臨界度が浅い状態から深くなる非定常状態では、この逆の非定常状態のときほど高速には未臨界度の変化を追跡できない問題があり、本年度はこの問題を解決するための最適アルゴリズムの検討を行うと共に、動燃事業団DCA実験炉雑音データを解析し、以下の結果を得た。

1. 未臨界度が変動する非定常状態における未臨界度推定アルゴリズムとしては、我々が提案してきたP行列活性化（P-matrix Activation: PMA）法を更に改良したP行列対角要素活性化法（PMDA法: P-Matrix Diagonal Activation Method）が有効である。特に、未臨界度が深い方向に変化する場合は最小2乗関数を評価関数とするELS法、及び適切な忘却計数パラメータを用いたRPE法が優れていると言える。しかし、未臨界度の変化がどの方向に変化するのかわからないような一般的な場合、細かいパラメータを選択する必要のない点で、RPE法よりもELS法にP行列対角要素活性化を組み合わせたアルゴリズムが最も有効であるとの結論を得た。
2. 従来から我々が行ってきた近大炉実験データの信号処理法が、DCA実験装置を用いた中性子検出器揺らぎ信号の解析にも有効であることが実証された。すなわち、本年度、動燃事業団・大洗工学センターのDCA実験装置を用いて行われた未臨界定常運転時の中性子信号揺らぎデータを解析した結果、未臨界度が0～\$11.2に対し、周波数スペクトル折れ点周波数は数Hzから数十Hzの間に分布している。今後同様の実験で中性子信号揺らぎをデータレコーダで記録する場合、どのような中性子検出器を用いた場合でも、中性子検出器出力信号をアナログ信号化して取り出し、そのDC成分を除去した後、遮断周波数が500Hz程度の比較的シャープな特性を持つローパスフィルターを通してDATデータレコーダに記録すれば良い。

※ 本報告書は、山田澄が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号……………: 060D0128

事業団担当部課室: 東海事業所、安全管理部・安全技術課 野尻一郎

* 摂南大学 工学部 電気工学科



Basic Study on On-line Criticality Surveillance System (IV)

Sumasu Yamada*

Abstract

An inexpensive on-line criticality surveillance system of quick response is desired. Under such circumstance, this research is an attempt to apply the time series of signal fluctuation of a neutron detector in a subcritical reactor for estimating the subcriticality. After three years of research since 1991, we concluded that recursive ARMA model identification algorithms with the P-matrix activation method would be the best for non stationary time series. However, we also found that the proposed method had a tendency to underestimate the subcriticality when it was applied for the time series in the case of increasing subcriticality. Hence, this year, we focus our attention to the algorithms best for estimating the increasing subcriticality.

Analyzing real data obtained from UTR KINKI and DCA at the Oari Engineering Center of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, we obtained the following conclusions.

1. In the case of increasing subcriticality, we found that the ELS algorithm or RPE algorithm with appropriately selected forgetting factors is the best when they are used with the newly developed P-matrix diagonal activation method, which activates only the diagonal elements of the P-matrix. However, in the case of general situation where the direction of reactivity change is unknown, ELS algorithm with the P-matrix diagonal activation method will be the best because one need not carry out any parameter survey to determine the forgetting factors as in the case of the RPE algorithm.
2. The analog signal preprocessing method we had used for the experiments at UTR KINKI is also effective to DCA experiments. That is, DCA noise data were preprocessed by low-pass and hi-pass filters with appropriately selected cut-off frequencies and it turned out that the break frequencies of power spectral densities of neutron signal fluctuation corresponding to subcriticalities $\$0-\11 were ranging from 5Hz to 50Hz for subcriticality. should be recorded by a DAT data recorder. For any neutron detector, the noise data filtered through a high-pass filter with the cut-off frequency of 500Hz before recording. can be modified in any way using a personal computer after retrieving the data from the DAT tape through GPIB-interface.

Work performed by Sumasu Yamada under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.
PNC Liaison: Safety Technology Development Section Health and Safety Division, Tokai Work, Ichiro Nojiri.

* Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Setsunan University

目次

1	緒言	1
2	ARMA同定アルゴリズム	3
2.1	RPE (Recursive Prediction Error)法	3
2.2	PLR (PseudoLinear Regression)法	10
2.3	ELS (Extended Least Squares)法	10
2.4	RPE法におけるProjection Algorithm	10
2.5	PMA (P-matrix Activation)法 & PMDA (P-matrix Diagonal Activation)法	12
3	非定常状態における未臨界度推定アルゴリズムの検討	15
3.1	RPE法の忘却係数パラメータサーベイ	15
3.1.1	解析に用いたデータ	15
3.1.2	却係数パラメータの組み合わせ	17
3.2	解析データ処理に用いたデジタルフィルタ	
3.2.1	デジタルフィルタの設計仕様及びフィルタ特性	
3.2.2	近大原子炉データ (ID004), (ID012) の パワースペクトル密度	
3.3	解析結果	40
3.4	小結	
4	非定常状態における未臨界度推定	26
4.1	アナログハイパスフィルタと基本時系列データの作成	26
4.2	時系列データのサンプリング周波数と 推定値の未臨界度の変化に対する追従性能	28
4.2.1	解析の概要	29
4.2.2	サンプリング周波数と未臨界度の変化に対する 推定値の追従に関する定性的知見	30
4.2.3	未臨界度の変化に対する推定値の追従性の評価と 高周波サンプリングの有効性	30
4.3	未臨界度の変化に対する推定値の高速追従のための 同定アルゴリズムの検討	33
4.3.1	解析の概要	34
4.3.2	各アルゴリズムにおける未臨界度推定 に対する定性的知見	36
4.3.3	未臨界度の変化に対する推定値の追従性能の 評価と最適アルゴリズム	37
4.4	小結	40

5 結論と今後の課題	41
参考文献	46
図	51

表・図目次

	頁数
Table 3.1.1 使用データの概要	16
Table 3.1.2 ジョブの固定パラメータ (RPE法)	17
Table 3.1.3 忘却係数 λ の設定範囲 (RPE法)	18
Table 3.2.1 ジョブの設定パラメータ (ID004)	18
Table 3.3.1 ジョブの設定パラメータ (ID012)	19
Table 3.3.2 ジョブの設定パラメータ (ID012)	19
Table 3.4.1 各testに対するパラメータ値の結果図一覧表	20
Table 3.4.2 各testに対するパラメータ値の結果図一覧表	21
Table 3.4.3 各testに対するパラメータ値の結果図一覧表	22
Table 3.5 ELS&PMDAとRPE (F-factor Init:0.8 F-factor Mu:0.999) &PMDAのパラメータ値を比較した結果図一覧表	22
Table 3.6.1 忘却係数の初期値(0.90・0.85・0.80)毎の未臨界度結果図一覧表	23
Table 3.6.2 ELS&PMDAとRPE(F-factor Init:0.80 F-factor:0.999) &PMDAの未臨界度を比較した結果図一覧表	23
Table 3.8 データ (ID004, ID012) のPSD	24
Table 3.A デジタルフィルタの設計仕様 (LPF)	25
Table 3.B デジタルフィルタの設計仕様 (HPF)	25
Table 4-1 DCA測定体系	66
Table 4-2 レコーダデータ	66
Table 4-3 検出器データ	67
Table 4-4 測定データ	68
Table 4-5 LPFの設計仕様	74
Table 4-6 HPFの設計仕様	74
 (ID004) データ解析	
Fig.3.1.1 1st AR parameter(RPE with F-factor Init:0.90)	38
Fig.3.1.2 2nd AR parameter(RPE with F-factor Init:0.90)	38

Fig.3.1.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE with F-factor Init:0.90)	3 9
Fig.3.1.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE with F-factor Init:0.90)	3 9
Fig.3.2.1	1st AR parameter(RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 0
Fig.3.2.2	2nd AR parameter(RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 0
Fig.3.2.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 1
Fig.3.2.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 1
Fig.3.3.1	1st AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 2
Fig.3.3.2	2nd AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 2
Fig.3.3.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 3
Fig.3.3.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 3

(I D 0 1 2) データ解析

Fig.3.4.1	1st AR parameter(RPE with F-factor Init:0.90)	4 4
Fig.3.4.2	2nd AR parameter(RPE with F-factor Init:0.90)	4 4
Fig.3.4.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE with F-factor Init:0.90)	4 5

(I D 0 1 2) データ解析

Fig.3.4.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE with F-factor Init:0.90)	4 5
Fig.3.5.1	1st AR parameter(RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 6
Fig.3.5.2	2nd AR parameter(RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 6
Fig.3.5.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 7
Fig.3.5.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE&PMA with F-factor Init:0.90)	4 7
Fig.3.6.1	1st AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 8
Fig.3.6.2	2nd AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 8
Fig.3.6.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 9
Fig.3.6.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.90)	4 9

(I D 0 1 2) データ解析

Fig.3.7.1	1st AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.85)	5 0
Fig.3.7.2	2nd AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.85)	5 0

Fig.3.7.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.85)	5 1
Fig.3.7.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.85)	5 1
Fig.3.8.1	1st AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 2
Fig.3.8.2	2nd AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 2
Fig.3.8.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 3
Fig.3.8.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 3
Fig.3.9.1	1st AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 4
Fig.3.9.2	2nd AR parameter(RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 4

(I D O 1 2) データ解析

Fig.3.9.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 5
Fig.3.9.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model (RPE&PMDA with F-factor Init:0.80)	5 5
Fig.3.10.1	1st AR parameter(ELS with F-factor: 1)	5 6
Fig.3.10.2	2nd AR parameter(ELS with F-factor: 1)	5 6
Fig.3.10.3	POLE 1 of ARMA(2,2)model parameter(ELS with F-factor: 1)	5 7
Fig.3.10.4	POLE 2 of ARMA(2,2)model parameter(ELS with F-factor: 1)	5 7
Fig.3.11.1	ELS & PMDA と RPE (F-factor Init:0.80 F-factor Mu:0.999) & PMDA による 1 s t AR parameter の比較	5 8
Fig.3.11.2	ELS & PMDA と RPE (F-factor Init:0.80 F-factor Mu:0.999) & PMDA による 2 n d AR parameter の比較	5 8

(I D O 1 2) データ解析

Fig.3.11.3	ELS & PMDA と RPE (F-factor Init:0.80 F-factor Mu:0.999) & PMDA による P O L E 1 の比較	5 9
Fig.3.11.4	ELS & PMDA と RPE (F-factor Init:0.80 F-factor Mu:0.999) & PMDA による P O L E 2 の比較	5 9
Fig.3.12.1	Subcriticality estimated by RPE(F-factor Init:0.90) method	6 0
Fig.3.12.2	Subcriticality estimated by RPE(F-factor Init:0.85) method	6 0
Fig.3.12.3	Subcriticality estimated by RPE(F-factor Init:0.80) method	6 1
Fig.3.13	ELS & PMDA と RPE (F-factor Init:0.80 F-factor Mu:0.999) & PMDA による未臨界度の比較	6 1
Fig.3.14.1	Low Pass filter 特性 (Sampling frequency=888.888...Hz,Cut-off frequency=222.222...Hz)	6 2

Fig.3.14.2	High Pass filter 特性 (Sampling frequency=444.444...Hz,Cut-off frequency=0.2Hz)	6 3
Fig3.15.1	データ (ID004) のパワースペクトラム密度 (PSD)	6 4
Fig3.15.2	データ (ID012) のパワースペクトラム密度 (PSD)	6 5
Fig. 4-1	炉心配置図	6 7
Fig. 4-2	各デバイスの接続図	6 9
Fig. 4-3	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 0
	IDコード:014,アドレス:+04330,分周レート:12 分周周波数:4000 Hz	
Fig. 4-4	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 1
	IDコード:014,アドレス:+04330,分周レート:21 分周周波数:2285.714286 Hz	
Fig. 4-5	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 2
	IDコード:014,アドレス:+04330,分周レート:22 分周周波数:2181.81818 Hz	
Fig. 4-6	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 3
	IDコード:014,アドレス:+04330,分周レート:23 分周周波数:2086.956522 Hz	
Fig. 4-7	Low Pass Filter 特性	7 4
	Sampling Frequency = 2285.714286 Hz Cut Off Frequency = 200 Hz 6次	
Fig. 4-8	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 5
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	
Fig. 4-9	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 6
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:180Hz	
Fig. 4-10	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 7
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:205Hz	
Fig. 4-11	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 8
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:210Hz	
Fig. 4-12	高速フーリエ変換 (FFT) による PSD	7 9
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	
Fig. 4-13	ELS法 (ARMA (2, 2)) によるパラメータ値の推定	8 0
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	
Fig. 4-14	ELS法 (ARMA (2, 2)) によるポール値の推定	8 0
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	
Fig. 4-15	ELS法 (ARMA (3, 3)) によるパラメータ値の推定	8 1
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	
Fig. 4-16	ELS法 (ARMA (3, 3)) によるポール値の推定	8 1
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	
Fig. 4-17	ARMA (2, 2) パラメータより求めた PSD	8 2
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	
Fig. 4-18	ARMA (3, 3) パラメータより求めた PSD	8 3
	IDコード:014,アドレス:+04330 サンプル周波数:2285.714286HZ,LPF:200Hz	

Fig. 4-19	ドリフト雑音除去の特性	8 4
Fig. 4-20	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D	8 5
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-21	E L S 法 (ARMA (2, 2)) によるパラメータ値の推定	8 6
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-22	E L S 法 (ARMA (2, 2)) によるポール値の推定	8 6
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-23	E L S 法 (ARMA (3, 3))によるパラメータ値の推定	8 7
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-24	E L S 法 (ARMA (3, 3)) によるポール値の推定	8 7
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-25	ARMA (2, 2) パラメータより求めた P S D	8 8
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-26	ARMA (3, 3) パラメータより求めた P S D	8 9
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-27	High Pass Filter 特性	9 0
	Sampling Frequency = 457.1428571 Hz Cut Off Frequency = 0.2 Hz 4次	
Fig. 4-28	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D	9 1
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-29	E L S 法 (ARMA (2, 2)) によるパラメータ値の推定	9 2
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-30	E L S 法 (ARMA (2, 2)) によるポール値の推定	9 2
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-31	E L S 法 (ARMA (3, 3)) によるパラメータ値の推定	9 3
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-32	E L S 法 (ARMA (3, 3)) によるポール値の推定	9 3
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	
Fig. 4-33	ARMA (2, 2) パラメータより求めた P S D	9 4
	IDコード:014,アドレス:+04330,サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	

Fig. 4-34	ARMA (3, 3) パラメータより求めた P S D IDコード:014, アドレス:+04330, サンプリング周波数:457.1428571Hz LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	95
Fig. 4-35	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:2285.714286 Hz, LPF, HPF, 平均値除去処理:無	96
Fig. 4-36	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:2285.714286 Hz, LPF:200Hz, HPF, 平均値除去処理:無	97
Fig. 4-37	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF, 平均値除去処理:無	98
Fig. 4-38	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:無	99
Fig. 4-39	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	100
Fig. 4-40	ELS法 (ARMA (2, 2)) によるパラメータ値の推定 IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	101
Fig. 4-41	ELS法 (ARMA (2, 2)) によるポール値の推定 IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	101
Fig. 4-42	ELS法 (ARMA (3, 3)) によるパラメータ値の推定 IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	102
Fig. 4-43	ELS法 (ARMA (3, 3)) によるポール値の推定 IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	102
Fig. 4-44	ARMA (2, 2) パラメータより求めた P S D IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	103
Fig. 4-45	ARMA (2, 2) パラメータより求めた P S D IDコード:026~027, アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプリング周波数:457.1428571 Hz, LPF:200Hz, HPF:0.2Hz, 平均値除去処理:有	104
Fig. 4-46	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D の推移 IDコード:026~027, サンプリング周波数:2285.714286 Hz アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL (7分間ずつ5回測定) LPF, HPF, 平均値除去処理:無	105

Fig. 4-47	高速フーリエ変換 (FFT) による P S D の推移 IDコード:026~027 , サンプル周波数 : 457.1428571 Hz アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL (6分間ずつ5回測定) LPF:200Hz , HPF:0.2Hz , 平均値除去処理 : 有	106
Fig. 4-48	ELS法 (ARMA (2, 2)) によるポール値の推移 IDコード:026~027 , アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプル周波数 : 457.1428571 Hz (6分間ずつ5回測定) LPF:200Hz , HPF:0.2Hz , 平均値除去処理 : 有	107
Fig. 4-49	ELS法 (ARMA (3, 3)) によるポール値の推移 IDコード:026~027 , アドレス:ID026 +01827 ~ ID027 ALL サンプル周波数 : 457.1428571 Hz (6分間ずつ5回測定) LPF:200Hz , HPF:0.2Hz , 平均値除去処理 : 有	107

1 緒言

再処理工場等においては安価で即応性の良い臨界安全監視システムの開発が望まれている。本研究は未臨界体系で観測される中性子信号揺らぎを用いてオンラインで未臨界度を推定しようとする試みであり、そのための基礎的研究を平成3年度より行ってきた。平成3年度は、体系が定常状態にある場合の未臨界度推定について最適なアルゴリズムの検討を行い、次に平成4年度では、時系列データ中に含まれる低周波成分が未臨界度推定に及ぼす影響を考察するためのハイパスフィルタと未臨界度推定精度の関係、及び、時系列データのサンプリング周波数が推定値に及ぼす効果等についての検討を行い、さらに、昨年度は未臨界度の変化によって生じるシステムのパラメータ変動を迅速に検出するためのアルゴリズムの検討を行い、非定常状態に対するパラメータ推定法としてパラメータ修正係数の大きさを決定する予測誤差の相関行列 P を強制的に操作する P 行列活性化法が有効であることを報告した。しかし、この方法では未臨界度が浅い状態から深い状態に変化する非定常問題では、未臨界度が浅くなる非定常問題のときほど高速には未臨界度の変化を追跡できない問題が見られることを報告した。そこで、本年度はこの問題を解決するためのアルゴリズムの検討を行うと共に、本年度野尻氏が動燃事業団のDCAを用いて行った炉雑音実験のデータを解析し、今後動燃事業団がDCAを用いた未臨界度推定用実験データを取得するために必要となる条件を検討した。

本論文の構成は以下の通りである。

第2章では、昨年度の報告書と重複することとなるが、本報告で用いるアルゴリズムを説明する上で必要となるため、敢えてオンラインパラメータ同定アルゴリズムの基本を述べ、次に本年度の研究における中心的アルゴリズムである P 列活性化法、特に P 行列対角要素活性化法について述べる。

第3章は、近畿大学原子炉実験で得た実際のデータを解析し、未臨界度が浅い状態から深い状態に変化する場合の未臨界度推定について、各種のアルゴリ

ズムによる解析結果を述べる。

第4章では、DCA実験データの解析手順、信号前処理法、そしてそれらを用いて得た解析結果について述べる。

第5章では、本研究で得た成果のまとめと、今後の課題について述べる。

2 オンラインARMAパラメータ 同定アルゴリズム

この章では、本研究で用いるオンラインARMAパラメータ同定アルゴリズムについて述べる。既に昨年度の報告書で基本アルゴリズムとその変形について報告しているが、本年度の研究で用いているアルゴリズムは基本的には昨年度報告したアルゴリズムが基になっており、また、本報告を一貫性のある報告書とするためにも、昨年度と重複するが、定常時系列に対するオンラインARMAモデル同定手法：Recursive Prediction Error Method (RPE法)、PseudoLinear Regression Method (PLR法)、Extended Least Squares Method (ELS法)、及びそれらのアルゴリズムの安定性を保証するための Projection Algorithm 等を簡単に述べ、その後で非定常時系列データにおけるパラメータ推定の追従速度を速めるアルゴリズムとして開発されたPMA (P-Matrix Activation) 法及びPMDA (P-Matrix Diagonal Activation) 法について説明する。

2.1 Recursive Prediction Error (RPE) 法^[2]

1入力・1出力システムの入力を $u(t)$ 、出力を $y(t)$ 、外乱を $e(t)$ としたとき、このARMAX(p, q, r)モデルは

$$y(t) + \sum_{i=1}^p a_i y(t-i) = \sum_{k=1}^r b_k u(t-k) + e(t) + \sum_{j=1}^q c_j e(t-j) \quad (2.1)$$

で記述することができる。

$u(t)$ と $y(t)$ が観測可能で、 $e(t)$ が観測不可能な場合、自己回帰 (AR) 部パラメータ： a_i 、外部入力 (exogenous) 部パラメータ： b_i 、移動平均 (MA) 部のパラメータ： c_i を逐次的に求める手法として Recursive Prediction Error (RPE) 法が良く知られている。揺らぎを発生させる駆動力としての入力 $u(t)$ が観測不可能な場合、このアルゴリズムは式(2.1)の $u(t)$ を零とすることにより得られるARMA(p, q)過程のモデルパラメータ推定アルゴリズムとして用いることができる。

時間推移オペレータ z^{-1} を用いると、式(2.1)は次のように書ける。

$$A(z^{-1})y(t) = B(z^{-1})u(t) + C(z^{-1})e(t) \quad (2.2)$$

$$A(z^{-1}) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} + \dots + a_pz^{-p}$$

$$B(z^{-1}) = 1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + \dots + b_rz^{-r}$$

$$C(z^{-1}) = 1 + c_1z^{-1} + c_2z^{-2} + \dots + c_qz^{-q}$$

ここで、 $e(t)$ が観測できるとして、

観測データベクトル：

$$\phi^T(t) = [-y(t-1), -y(t-2), \dots, -y(t-p), \\ u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-r), \\ e(t-1), e(t-2), \dots, e(t-q)] \quad (2.3)$$

及び、これから推定しようとするパラメータベクトル：

$$\theta^T = [a_1, a_2, \dots, a_p, b_1, b_2, \dots, b_r, c_1, c_2, \dots, c_q] \quad (2.4)$$

を定義すると、予測誤差 $v(t)$ は式(2.1)より、

$$v(t) = y(t) - \theta^T \phi(t) \quad (2.5)$$

なる関係がある。

そこで予測誤差 $v(t)$ の2乗の平均値

$$V_N(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [y(t) - \theta^T \phi(t)]^2 \quad (2.6)$$

を最小にするようなパラメータ θ を逐次的に求めるのが逐次型 ARMAX モデルパラメータ同定アルゴリズムである。

このことは $V_N(\theta)$ が最小、すなわち予測誤差 $v(t)$ の分散を最小とするパラメータを推定することになる。したがって、最適パラメータは

$$\frac{\partial V_N(\theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (2.7)$$

となるように θ を選ばばよい。この様な θ を $\hat{\theta}(N)$ とおくと、

$$\hat{\theta}(N) = \left[\sum_{t=1}^N \phi(t) \phi^T(t) \right]^{-1} \cdot \sum_{t=1}^N \phi(t) y(t) \quad (2.8)$$

で与えられることになる。

これを逐次計算方式に書き換えるため、式(2.8)において $N \rightarrow t$ に書き換え $\phi(t)$ の $(p+r+q) \times (p+r+q)$ 共分散行列 $R(t)$ を

$$R(t) = \sum_{k=1}^t \phi(k) \phi^T(k) \quad (2.9)$$

と定義し、その逆行列の平均値を、

$$P = \overline{R^{-1}}(t) = \frac{1}{t} R^{-1}(t) \quad (2.10)$$

と表すと、この行列は推定パラメータの誤差の共分散行列を現していることになることが、Kalman Filter の理論から説明できる。

ここで、確率時系列データの平均相関行列 $\overline{R}(t)$ は使用するデータ数が増加するに連れて一定の値に収束する。従ってその逆行列である P マトリックスも収束に向かう。P マトリックスは推定パラメータ $\hat{\theta}$ の修正量を調整する係数であり、P マトリックスの収束は推定パラメータの収束を意味する。一般に、P マトリックスの各要素は使用するデータ数に逆比例して急速に小さな値となり、新規の情報に対するパラメータ修正感度が鈍くなる。従って、パラメータの更新と言う観点からは、P マトリックスが収束している状態（即ち長い間定常状態が持続した後）でシステムのパラメータ変動が発生すると、パラメータ修正量が非常に小さく、結果的にパラメータ変化の追跡に大幅な遅れを生じる可能性が生じることになる。

さて、これまでは説明を簡単にするため $e(t)$ は観測できるものと仮定してきたが、実際には観測出来ないランダム変数であるから、 $e(t)$ を推定しながらパラメータ推定を行っていかなければならない。そのため、 $e(t)$ の推定値として式誤差（残差とも呼ぶ） $v(t)$ を

$$v(t) = y(t) - \hat{\theta}^T(t) \phi(t) \quad (2.11)$$

と定義し、(2.3)式の $\phi(t)$ は $e(t)$ を $v(t)$ に置き換えたものを用いる。

すると、以下に示すような逐次計算アルゴリズムを得る。アルゴリズムを記述するにあたり、先ず逐次パラメータ推定アルゴリズムで用いられる各シンボルを Table 2.1 に示す。

Recursive Prediction Error Method (RPE法) のアルゴリズム

観測される時系列データ $y(t)$ 、 $u(t)$ を新たに取得する毎に以下の [STEP] に従って各種の計算と推定パラメータの更新を行う。

[STEP 1] $y(t)$ の推定値 $\hat{y}(t)$ の計算。

$$\hat{y}(t) = \hat{\theta}^T(t-1)\phi(t) \quad (2.12)$$

Table 2.1 Notations used in the RPE method.

Symbol	Description	Formation
$\hat{\theta}(t)$	Estimated parameter of $\theta(t)$	(p+r+q) Row-vector
$L(t)$	Gain vector	(p+r+q) Row-vector
$P(t)$	P-Matrix	(p+r+q) × (p+r+q) Matrix
$\phi(t)$	Time series vector	(p+r+q) Row-vector
$\psi(t)$	Revised time series vector	(p+r+q) Row-vector
e_p	Prediction Error	A variable
$\lambda(t)$	Forgetting Factor	A variable
K_t	Contraction Factor	A variable
$\tilde{y}(t)$	Revised value of $y(t)$	A variable
$\tilde{u}(t)$	Revised value of $u(t)$	A variable
$\tilde{v}(t)$	Revised value of $v(t)$	A variable

[STEP 2] Prediction Error の計算。

$$e_p = y(t) - \hat{y}(t) \quad (2.13)$$

[STEP 3] $\hat{\theta}(t)$ の更新。

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + L(t-1) \cdot e_p \quad (2.14)$$

[STEP 4] 式誤差(残差) $v(t)$ の計算。

$$v(t) = y(t) - \hat{\theta}^T(t)\phi(t) \quad (2.15)$$

[STEP 5] 式誤差の非白色性による推定値の偏りを補正。

$1/\hat{C}(z^{-1})$ による式誤差の白色化

$$\tilde{y}(t) = y(t) + \sum_{i=1}^p (K_i \cdot \hat{c}_i(t) \cdot (-\tilde{y}(t-i))) \quad (2.16)$$

$$\tilde{u}(t) = u(t) - \sum_{i=1}^r (K_i \cdot \hat{c}_i(t) \cdot \tilde{u}(t-i)) \quad (2.17)$$

$$\tilde{v}(t) = v(t) - \sum_{i=1}^q (K_i \cdot \hat{c}_i(t) \cdot \tilde{v}(t-i)) \quad (2.18)$$

[STEP 6] $\phi(t)$ 及び $\psi(t)$ の更新。

$$\phi^T(t+1) = [-y(t), -y(t-1), \dots, -y(t-p+1), \\ u(t), u(t-1), \dots, u(t-r+1), \\ v(t), v(t-1), \dots, v(t-q+1)] \quad (2.19)$$

$$\psi^T(t+1) = [-\tilde{y}(t), -\tilde{y}(t-1), \dots, -\tilde{y}(t-p+1), \\ \tilde{u}(t), \tilde{u}(t-1), \dots, \tilde{u}(t-r+1), \\ \tilde{v}(t), \tilde{v}(t-1), \dots, \tilde{v}(t-q+1)] \quad (2.20)$$

以降 $\psi(t)$ はこの更新されたものを使用する。

[STEP 7] マトリックス $P(t)$ の更新。

$$P(t) = \frac{P(t-1)}{\lambda(t)} - \frac{P(t-1)\psi(t)\psi^T(t)P(t-1)}{\lambda(t) + \psi^T(t)P(t-1)\psi(t)} \cdot \frac{1}{\lambda(t)} \quad (2.21)$$

[STEP 8] ゲインベクトル $L(t)$ の更新。

$$L(t) = P(t)\psi(t) \quad (2.22)$$

[STEP 9] 周辺処理を行い [STEP 1] へもどる。

上記のアルゴリズムを実際の計算機プログラムとして実現するに当たり、アルゴリズム上、以下に示すような二つの補助パラメータを導入している。

① 忘却係数 (Forgetting Factor)

忘却係数 λ は [STEP 7] における P マトリックス更新時に作用するパラメータで、これは P マトリックス更新時に一段階前の値が更新時の値に与える影響の度合いを調整するための係数である。P の値はその定義から分かるように、使用するデータ量の増加に逆比例して減少する性質を持ち、(2.14) 式のパラメータ修正ゲイン $L(t)$ は式 (2.22) のように P (t) に比例している。したがって、(2.21) 式から分かるように、 $0 < \lambda < 1$ の時は $\lambda = 1$ の時に比べて等価的に P マトリックスの値の減少が少なく、推定するパラメータの修正量を $\lambda = 1$ の場合より大きくするよう作用する。定常状態にある時系列データ ($\theta = \text{一定}$) を同定するとき、同定初期段階においては P マトリックス自身が収束していないため、 λ を 1 より小さい値にしておくことによって ARMA パラメータの変化量を大きくし、パラメータの収束を速める。そして P マトリックスが小さな値に収束した後は、 $\lambda = 1$ として P マトリックスの安定化、ひいては ARMA パラメータの安定化を図ることが望ましい。

しかし、非定常な時系列データのパラメータ推定を行うような場合、実状に応じて λ の値を設定する必要がある。本研究で用いた計算プログラム内では λ の初期値として λ_0 、更新のためのファクターとして μ_λ を与え $\lambda(t)$ は式

$$\lambda(t) = (\lambda_0 - 1)\mu_\lambda^{t-1} + 1 \quad (2.23)$$

のように定義している。

② 縮約係数 (Reflection Coefficient)

縮約係数 K_i は [STEP 5] における式誤差の白色化の段階で、白色化の度合いを調整するための係数である。RPE 法において推定値に偏りを生じる原因の一つに [STEP 4] で計算される式誤差の非白色性の影響によるものがある。そこで、不偏一致推定量を得るために式誤差 $v(t)$ を仮想的な白色雑音を入力とする MA モデルで表し、その MA モデル伝達関数の逆数を白色化フィルタとして用い式誤差を白色化する。このとき時系列データ全体もこのフィルタで補正する過程が [STEP 5] である。(この原理については 昨年度の報告書 Appendix-A を参照されたい)。しかし、使用データ量が少ないときやシステムが過渡的状态にある時は、使用する白色化フィルタの伝達関数 $\hat{C}(z^{-1})$ の精度が悪く、この白色化フィルタを用いると還ってパラメータ推定に悪影響

を及ぼし、パラメータの収束を損なう場合がある。従って、推定パラメータが大きく変動するような同定初期段階などでは白色化を行わないようにするなどの処置が必要となってくる。その処置法の一つとして、白色化補正を行う段階で縮約係数 K_i を導入して、パラメータ同定の進み具合に応じて白色化の度合いを制御する。本研究で用いた計算プログラム内では K_i の初期値を $K_0=0$ とし、読み込みデータ数に依存して K_i を更新するための補助パラメータとして $\mu_k (0 \leq \mu_k \leq 1)$ を用いて、

$$K_i = 1 - \mu_k^i \quad (2.24)$$

のように定義している。

なお、 $K_i = 1$ のとき完全な白色化を行い $K_i = 0$ のとき白色化をしない。また $K_i = 1$ のときパラメータ推定のための誤差評価関数は近似的に尤度関数となり、 $K_i = 0$ のとき誤差評価関数は最小2乗関数となる。

PRE法において、 $K_i = 0$ とするとPLR法、 $K_i = 0$ 、 $\lambda(n) = 1$ とするとELS法、 $K_i = 1$ 、 $\lambda(n) = 1$ とするとRML法と同じアルゴリズムになる。

ベクトル及びマトリックスの初期設定。

上記逐次パラメータ同定アルゴリズムを実際に使用する際、先ず手続きループに入る前に各ベクトル及びマトリックスの初期設定を設定しておかなければならない。特に、パラメータベクトル $\hat{\theta}(0)$ に関しては、先験的な知識によりその近似値が既知である場合には、その値を初期値として設定することによりパラメータ収束を速め、より正確なパラメータ同定を行うことが可能である。しかし、本研究では一般的にそのような値が分からないものとして、以下のよう初期値設定を行っている。

$$\hat{\theta}^T(0) = [0, 0, \dots, 0, 0, \dots, 0, 0]$$

$$L^T(0) = [0, 0, \dots, 0, 0, \dots, 0, 0]$$

$$P(0) = \alpha \times I \quad (\alpha \text{ は任意の正数、} I \text{ は単位行列})$$

Pマトリックスの初期設定において、推定パラメータの偏りを少なくするためには α として十分に大きな値を設定することが望ましいとされているが、時系列によっては必ずしもそうではない場合もある。本研究では、通常 $\alpha = 1000$ を用いているが、非常に小さい値で最適となる場合もあることも念頭に置

くべきであろう。

なお、本研究で用いている計算プログラムでは、計算時間の短縮とメモリ容量の節約を実現するため、基本的にはPマトリックスの計算にはUDL分解法と呼ばれるアルゴリズムを用いており、実際の計算プログラムでは[STEP 7]及び[STEP 8]での計算方法が、式(2.21)、(2.22)とは異なっているが、得られる結果は理論的に全く同じである。

2.2 PseudoLinear Regression (PLR) 法^[4]

PseudoLinear Regression (PLR) 法はRPE法のアルゴリズムにおいて縮約係数 K_i が常に零、すなわち、 $\psi(t) = \phi(t)$ としたものである。このアルゴリズムでは、式誤差の非白色性が強い場合、パラメータ推定値の真値への収束はRPE法に比べて悪くなり、しかも推定値に偏りを生じることがある。しかし、ベクトル $\phi(t)$ は推定されるMA部 $\hat{C}(z^{-1})$ によって修正されないため、 $\hat{C}(z^{-1})$ の精度及び安定性に依存せず、MA部が必ずしも安定な伝達関数とならないような非定常状態の時系列データに対しても有効な逐次オンラインパラメータ同定アルゴリズムとなっている。

2.3 Extended Least Squares (ELS) 法[2]

Extended Least Squares (ELS) 法はRPE法のアルゴリズムにおいて縮約係数 K_i が常に零であると同時に、忘却係数 λ も常に1としたものである。従ってPLR法の特殊なケースであると言える。従って、RPE法の中では最もシンプルな逐次オンラインパラメータ同定アルゴリズムである。この方法は他の方法に比べて最も計算量が少なくすむ反面、パラメータの収束速度は推定の対象となるシステムの特性に強く依存するなどの欠点を持つ。

2.4 RPE法における Projection Algorithm (RML法)

RPE法において、 $K_i = 1$ 、 $\lambda(n) = 1$ とするとRML法と呼ばれるアルゴリズムになる。RPE法のアルゴリズムにおいて、[STEP 5]は不偏一致推定量を得るという意味で重要な過程であるが、白色化フィルタを形成するMA部 $\hat{C}(z^{-1})$ が不安定フィルタ(z -平面上で単位円外に零点を持つ)となっている可能性がある。そこで、縮約係数 K_i が常に零となるPLR法やELS法

を除いて、式誤差 $v(t)$ の白色化を行う場合、白色化フィルタを形成する MA 部伝達関数 $\hat{C}(z^{-1})$ が安定、すなわち、

$$\hat{C}(z^{-1}) = 0 \quad (2.25)$$

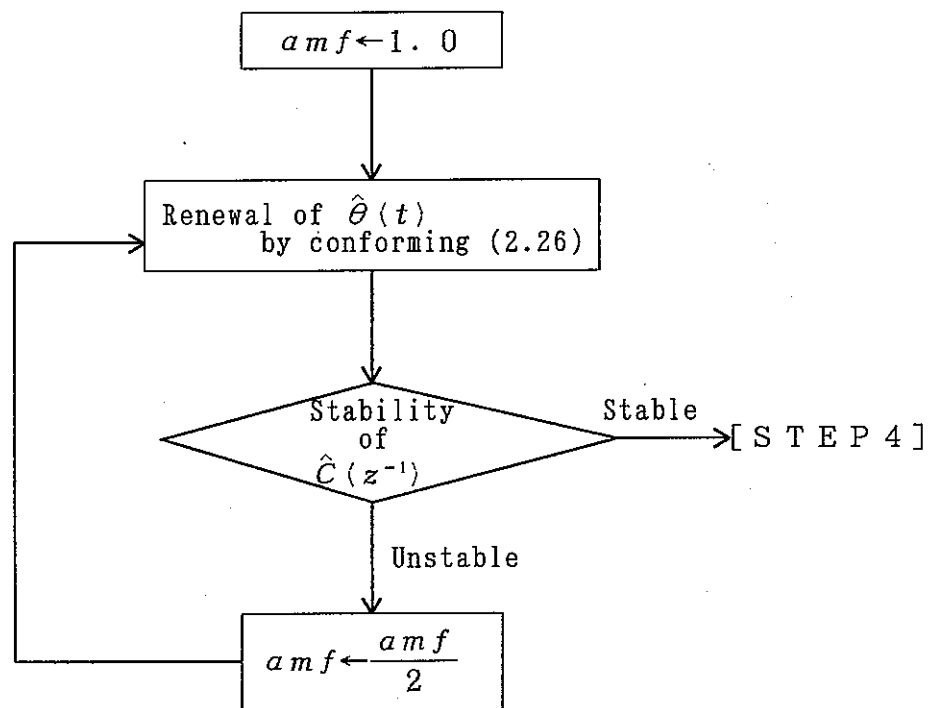
の全ての根が単位円の内部に投影(Projection)されることを保証する機能がアルゴリズムの中で必要となる。

本研究で用いている計算プログラムでは [STEP 3] を以下のように拡張することによってこれを実現している。

[STEP 3']

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + L(t-1) \cdot e_p \cdot amf \quad (2.26)$$

ここで amf は調整係数(AjustMent Factor)で、以下に示すフローチャートに従ってその大きさが変更される。



本研究で用いている計算プログラムでは、 $\hat{C}(z^{-1})$ の安定性判別に Suhur-Cohn^[5] の判定条件を用いている。

なお、Projection Algorithm は、式誤差の白色化を行わない P L R 法や E L S 法にも適用できるが、推定値の真値への漸近が極度に遅れる場合があることが本研究の過程で確認されている。

2. 5 P M A (P-Matrix Activation)法^[1] & P M D A (P-Matrix Diagonal Activation)法

システムのパラメータが変動する非定常時系列データに対し、R P E 法のパラメータ追従性能の改良に従来から取り組んできているが、その一つの方法として我々は R P E アルゴリズムにおける P マトリックスの活性化法 (P M A 法) を提案してきた。ここでは、P マトリックスの活性化の方法として、従来型の P M A 法と、P 行列の対角要素のみを活性化する P M D A 法について述べる。

まず、P マトリックスの意味について説明する。尚、ここで用いる記号は Table 2.1 に示されているもの、及び、2. 1 節の R P E 法のアルゴリズムの説明で用いたものと同じである。

定常時系列のパラメータ推定の原理は、

$$y(t) = \theta^T \phi(t) + v(t) \quad (2.18)$$

が成立するという仮定の下で、最適なパラメータ θ は残差 $v(t)$ の分散を最小にするものである。そこで、評価関数として

$$V_N(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N [y(t) - \theta^T \phi(t)]^2 \quad (2.19)$$

を定義し、 $V_N(\theta)$ が最小、すなわち、

$$\frac{\partial V_N(\theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (2.20)$$

となるように θ を選ばばよい。

この様な θ を $\hat{\theta}(N)$ とおくと、

$$\hat{\theta}(N) = \left[\sum_{t=1}^N \phi(t) \phi^T(t) \right]^{-1} \cdot \sum_{t=1}^N \phi(t) y(t) \quad (2.21)$$

で表される。

ここで、式(2.21)を

$$\hat{\theta}(t) = \left[\sum_{k=1}^t \phi(k) \phi^T(k) \right]^{-1} \cdot \sum_{k=1}^t \phi(k) y(k) \quad (2.22)$$

と書き、新たに $(p+r+q) \times (p+r+q)$ マトリックスである $R(t)$ を

$$R(t) = \sum_{k=1}^t \phi(k) \phi^T(k) \quad (2.23)$$

と定義すると、 P マトリックスは、

$$P = \overline{R^{-1}}(t) = \frac{1}{t} R^{-1}(t) \quad (2.24)$$

である。

P マトリックスは前述の RPE 法のアルゴリズムの [STEP 7] に従って計算されるものであるが、その物理的な意味は上述したものである。 P マトリックスは確率時系列データの相関行列 $\overline{R}(t)$ の逆行列であるから、推定が進むにつれてある一定値に収束し、 P マトリックスも収束に向かう。従ってマトリックス内の各要素も非常に小さな値になる。式(2.5)、(2.12)、(2.13)から分かるように、 P マトリックスは推定パラメータ $\hat{\theta}$ の修正量をコントロールするゲインファクターであり、 P マトリックスの収束は推定パラメータの収束を意味する。統計的に、 P マトリックスが収束すると新規の情報に対しては感度が鈍くなる。従って、ある程度のデータを読み込んで P マトリックスが既に収束した状態にある場合、パラメータの変動が生じて、そのパラメータの変化には直ちに追従出来ず、未臨界度の追跡に大幅な遅れを生じることになる。

そこで、 P マトリックスの収束を強制的に抑制する方法が P 行列活性化法である。PMA 法は、基本的には RPE 法によりパラメータ推定を行いながら、一定間隔で P マトリックスの全要素に 1 より僅かに大きな定数を掛けることにより、パラメータ変更感度を強制的に活性化する手法である。

PMDA 法は PMA 法の特殊なタイプで、PMA 法が P マトリックスの全要素に定数を掛けるのに対して、PMDA 法では P マトリックスの主対角要素に対してのみ一定間隔で定数を掛けるものである。この方法を用いることにより同一活性化量でより高い感度を得られる。RPE 法ではメモリの節約と高速計算を実現するため、 P マトリックスの UDL 分解表現を用いた計算を行っており、 P 行列の特定の要素だけに定数を掛けることが出来ない。一方、PMDA 法では対角要素のみに定数を掛けることが出来る反面、PMA 法のような行

列計算を行わないため、PMA法に比べて計算機メモリ及び計算時間を多く必要とする。このことは、最近の計算機の性能が向上した現在では問題とはならないであろう。

Pマトリックスの活性化は、RPE法の計算過程[STEP 9]での周辺処理の一環として以下の手続きに従って行う。

ここで、 N_{act} 、 A_{ct} はそれぞれ活性化間隔と活性化量を表し、 $A_{ct} > 1$ である。

PMA法：

$$P(t) = \begin{cases} P(t) \times A_{ct} & (t = kN_{act}, k : \text{整数}) \\ P(t) & (t \neq kN_{act}) \end{cases}$$

PMDA法：

$$diag[P(t)] = \begin{cases} diag[P(t)] \times A_{ct} & (t = kN_{act}, k : \text{整数}) \\ diag[P(t)] & (t \neq kN_{act}) \end{cases}$$

P行列活性化法を採用し、逐次計算におけるパラメータ修正量を大きくすることにより、システムの過渡状態におけるパラメータ推定の追従性能は高まる。しかし、本来Pマトリックスは式(2.19)における評価関数を最小にするという条件で更新されているものであり、外部からその条件を強制的に乱すことになるため、定常状態における推定パラメータの変動が大きくなるという欠点を生じることになる。従って、P行列活性化法を導入する場合は、「適正なパラメータ追従速度の向上」と「定常時におけるパラメータ変動の許容量」を総合的に考慮した上で、活性化量及び活性化間隔を設定する必要がある。

この様な考え方に近い方法として、P行列が0に収束するのを防ぐため、P行列に予め定めたルールに従う時間依存の定数を加える方法も提案されているが、加える値の算定方法が明らかではないので、これも試行錯誤的な方法である。

3 非定常状態における未臨界度推定 アルゴリズムの検討

昨年度報告したとおり、未臨界度が浅い状態から深い状態に変動する非定常状態における未臨界度推定では、未臨界度が浅くなる方向の非定常状態の場合と比べて未臨界度の変化を追跡する能力が劣ることが、計算機シミュレーション結果及び近大炉実験データ解析結果から判明になったので、逐次計算型ARMAモデル同定アルゴリズムを未臨界度モニタリングシステムとして使用するためには更に、各種のアルゴリズムの検討が必要となった。そこで、今年度も昨年度同様各種のアルゴリズムを網羅的に用いて、未臨界度が浅い状態から深い状態に変動する非定常状態における未臨界度の変化を追跡し、未臨界度変化を追跡するための最適なアルゴリズムを検討する。

この章で用いるデータは、近畿大学原子炉で取得した非定常未臨界状態における時系列データであり、なお、原子炉の未臨界度の変動は、中性子源を挿入した状態で未臨界定常状態にある原子炉の制御棒を一定速度で出し入れする事により作り出されたものであり、基準となる未臨界度は制御棒較正を用いた推定値である。

第1節には、解析に用いる時系列データの取得方法と、マスター時系列データからサンプリング周波数の異なる基本時系列データを生成する方法について説明する。第2節で、未臨界度の変化に対する追従性能を向上させるための最適なアルゴリズムの選択の問題について検討した結果を述べる。

第3節には、以上の結論についてまとめる。

3. 1 非定常状態におけるパラメータの推定

3.1.1 解析に用いたデータについて

近畿大学原子炉からサンプリング周波数888.88...Hz, 16ビット直線量子化により取得されたマスター時系列データ(ID004), (ID012)に対して、ELS法、RPE法等によるARMA(2, 2)過程のシステム同定を行う。

システム同定に用いるデータの作成にあたっては、サンプリング周波数 8 8 8 . 8 8 8 H z のマスター時系列データを等価的に、4 4 4 . 4 4 4 H z のサンプリング時系列データに変換するが、マスター時系列データを分周サンプリングする際に、エリアシングが発生するのを防止するために、マスター時系列データを、以下に示す特性を有するバターース特性ディジタルローパスフィルタを通した。マスター時系列データ 8 8 8 . 8 8 8 H z を、サンプリング周波数 4 4 4 . 4 4 4 H z に変換する場合には、カットオフ周波数を 2 2 2 . 2 2 2 H z とし、フィルタ次数は、4 次とした。

回路上の素子の特性誤差の影響などを受けて、その周波数特性が設計値を完全に満足できないアナログフィルタに比べて、ディジタルフィルタは、正確にカットオフ周波数を設定でき、急峻な減衰量を実現できる。そこで、ここで示したローパスフィルタで処理された 8 8 8 . 8 8 8 H z サンプリングのマスター時系列データから、ディジタル信号データを 2 回に 1 回の割合で分周サンプリングすることにより、4 4 4 . 4 4 4 H z サンプリングの時系列データを作成した。

システム同定を行う場合、基本的な時系列データの取得にあたっては、さきほど述べたエリアシング防止が重要であることは言うまでもないが、信号のバイアス成分と不要な低周波成分を除去し、その平均値まわりの揺らぎのみをサンプリングすることも重要になってくる。この研究では、低周波成分を除去するために、検出器からの信号をハイパスフィルタに通すことによって減衰させる方法を使った。この方法は、単にバイアス成分を除去するだけでなく、未臨界度推定に不要な低周波成分を減衰させるという点でも効果がある。

そこで、4 4 4 . 4 4 4 H z の時系列データをカットオフ周波数 0 . 2 H z のハイパスフィルタに通すことにより、システム同定に用いるデータを作成した。使用データ（時系列データ）を表 3 . 1 . 1 に示す。

表 3 . 1 . 1 使用データの概要

時系列データ	サンプリング周波数【H z】
I D 0 0 4	4 4 4 . 4 4 4
I D 0 1 2	4 4 4 . 4 4 4

データ作成に用いたローパスフィルタ及びハイパスフィルタの設計仕様と、研究に用いた時系列データ（ID004）、（ID012）のスペクトラムを、3.2節に記す。

3.1.2 解析方法

時系列データをARMAモデル同定するための、ARMA同定プログラム（ARMAX1）を用いて、3.1.1の手順で作成されたデータを以下に示すジョブ（test）の内容に従いARMA同定した。

解析には逐次型ARMAモデル同定アルゴリズムとして最も一般的なRPE法の忘却係数の初期値 λ_0 と更新ファクタ μ_k を色々組み合わせて、最もパラメータ変動追跡能力の高いアルゴリズムを探索した。更に、昨年度用いたELS法+PMDA法を用いた解析も比較のために改めて解析した。

以下に、ARMA同定におけるパラメータ設定を表の形で示す。

表3.1.2 ジョブの固定パラメータ（RPE法）

パラメータ設定	固定値
縮約係数 K_k の更新ファクタ μ_k (C-Factor)	0.97
プロジェクションアルゴリズム	ON
活性化間隔	100
活性化係数	1.0000050

（ELS法は、活性化間隔400、活性化係数1.0000020）

表 3. 1. 3 忘却係数 λ の設定範囲 (RPE 法)

λ の設定値 ($\lambda = (\lambda_0 - 1)\mu_{\lambda}^{t-1} + 1$)	設定範囲
λ の初期値 λ_0	0.9 ~ 0.8
λ の更新ファクター μ_{λ}	0.9996 ~ 0.8

(ELS 法は、 λ の値が常に 1。)

表 3. 1. 2 ~ 表 3. 1. 3 を用いた各ジョブのパラメータ設定を、以下の表 3. 2 ~ 表 3. 3. 2 に示す。

表 3. 2. 1 ジョブの設定パラメータ (ID004)

ジョブ	λ_0	μ_{λ}	アルゴリズム
test1	0.90	0.999	RPE
test2	0.90	0.990	RPE
test3	0.90	0.950	RPE
test4	0.90	0.900	RPE
test5	0.90	0.800	RPE
test6	0.90	0.999	RPE&PMA
test7	0.90	0.990	RPE&PMA
test8	0.90	0.950	RPE&PMA
test9	0.90	0.900	RPE&PMA
test10	0.90	0.800	RPE&PMA
test11	0.90	0.999	RPE&PMDA
test12	0.90	0.990	RPE&PMDA
test13	0.90	0.950	RPE&PMDA
test14	0.90	0.900	RPE&PMDA
test15	0.90	0.800	RPE&PMDA

表 3. 3. 1 ジョブの設定パラメータ (I D 0 1 2)

ジョブ*	λ_0	μ_λ	アルゴリズム
test16	0.90	0.999	RPE
test17	0.90	0.990	RPE
test18	0.90	0.950	RPE
test19	0.90	0.900	RPE
test20	0.90	0.800	RPE
test21	0.90	0.999	RPE&PMA
test22	0.90	0.990	RPE&PMA
test23	0.90	0.950	RPE&PMA
test24	0.90	0.900	RPE&PMA
test25	0.90	0.800	RPE&PMA
test26	0.90	0.999	RPE&PMDA
test27	0.90	0.990	RPE&PMDA
test28	0.90	0.950	RPE&PMDA
test29	0.90	0.900	RPE&PMDA
test30	0.90	0.800	RPE&PMDA

表 3. 3. 2 ジョブの設定パラメータ (I D 0 1 2)

ジョブ*	λ_0	μ_λ	アルゴリズム
test31	0.85	0.999	RPE&PMDA
test32	0.85	0.990	RPE&PMDA
test33	0.85	0.950	RPE&PMDA
test34	0.85	0.900	RPE&PMDA
test35	0.85	0.800	RPE&PMDA
test36	0.80	0.999	RPE&PMDA
test37	0.80	0.990	RPE&PMDA
test38	0.80	0.950	RPE&PMDA
test39	0.80	0.900	RPE&PMDA
test40	0.80	0.800	RPE&PMDA
test41	0.80	0.9996	RPE&PMDA
test42	0.80	0.9994	RPE&PMDA
test43	0.80	0.9992	RPE&PMDA
test44	0.80	0.9990	RPE&PMDA
test45	0.80	0.9950	RPE&PMDA
test46	1.00	1.00	ELS&PMDA

表 3. 4. 1 各 test に対するパラメータ値の結果図一覧表

シヨブ (test)	線種	A R 一次 ハ°ラメータ値	A R 二次 ハ°ラメータ値	P O L E 1	P O L E 2
test1	実線	図 3.1.1	図 3.1.2	図 3.1.3	図 3.1.4
test2	短鎖線				
test3	短点線				
test4	長点線				
test5	二点鎖線				
test6	実線	図 3.2.1	図 3.2.2	図 3.2.3	図 3.2.4
test7	短鎖線				
test8	短点線				
test9	長点線				
test10	二点鎖線				
test11	実線	図 3.3.1	図 3.3.2	図 3.3.3	図 3.3.4
test12	短鎖線				
test13	短点線				
test14	長点線				
test15	二点鎖線				
test16	実線	図 3.4.1	図 3.4.2	図 3.4.3	図 3.4.4
test17	短鎖線				
test18	短点線				
test19	長点線				
test20	二点鎖線				

表 3. 4. 2 各 t e s t に対するパラメータ値の結果図一覧表

シ・ョフ・ (test)	線種	A R 一次 ハ°ラメータ値	A R 二次 ハ°ラメータ値	P O L E 1	P O L E 2
test21	実線	☒ 3.5.1	☒ 3.5.2	☒ 3.5.3	☒ 3.5.4
test22	短鎖線				
test23	短点線				
test24	長点線				
test25	二点鎖線				
test26	実線	☒ 3.6.1	☒ 3.6.2	☒ 3.6.3	☒ 3.6.4
test27	短鎖線				
test28	短点線				
test29	長点線				
test30	二点鎖線				
test31	実線	☒ 3.7.1	☒ 3.7.2	☒ 3.7.3	☒ 3.7.4
test32	短鎖線				
test33	短点線				
test34	長点線				
test35	二点鎖線				
test36	実線	☒ 3.8.1	☒ 3.8.2	☒ 3.8.3	☒ 3.8.4
test37	短鎖線				
test38	短点線				
test39	長点線				
test40	二点鎖線				

表 3. 4. 3 各 t e s t に対するパラメータ値の結果図一覧表

シ'ョフ' (test)	線種	AR 一次 ハ°ラメ-タ値	AR 二次 ハ°ラメ-タ値	P O L E 1	P O L E 2
test41	実線	図 3.9.1	図 3.9.2	図 3.9.3	図 3.9.4
test42	短鎖線				
test43	短点線				
test44	長点線				
test45	二点鎖線				
test46	実線	図 3.10.1	図 3.10.2	図 3.10.3	図 3.10.4

表 3. 5 E L S & P M D A と R P E (F-factor Init:0.8 F-factor Mu:
0.999)& P M D A のパラメータ値を比較した結果図一覧表

シ'ョフ' (test)	線種	AR 一次 ハ°ラメ-タ値	AR 二次 ハ°ラメ-タ値	P O L E 1	P O L E 2
test36	実線	図 3.11.1	図 3.11.2	図 3.11.3	図 3.11.4
test46	短点線				

表 3. 6. 1 各忘却係数の初期値(0.90・0.85・0.80)毎の
末臨界度(Subcriticality)【\$】の結果図一覧表

シヨブ	線種	Subcriticality (\$)
test26	実線	図 3. 1 2 . 1
test27	短鎖線	
test28	短点線	
test29	長点線	
test30	二点鎖線	
test31	実線	図 3. 1 2 . 2
test32	短鎖線	
test33	短点線	
test34	長点線	
test35	二点鎖線	
test36	実線	図 3. 1 2 . 3
test37	短鎖線	
test38	短点線	
test39	長点線	
test40	二点鎖線	

表 3. 6. 2 E L S & P M D A と R P E (F-factor Init:0.80 F-factor
Mu:0.999) & P M D A の末臨界度(Subcriticality)を比較図一覧表

シヨブ (test)	線種	Subcriticality 【\$】
test36	実線	図 3. 1 3
test46	短点線	

3. 2 解析データ処理に用いたデジタルフィルタ

3.2.1 デジタルフィルタの設計仕様及びフィルタ特性

ここでは、本研究で用いたローパスフィルタ及びハイパスフィルタの設計仕様とそのフィルタ特性を示す。

設計仕様については、表 3. 7. 1、表 3. 7. 2 に、又フィルタ特性については、図 3. 14. 1、図 3. 14. 2 に示す。

3.2.2 近大原子炉データ (ID004), (ID012) の パワースペクトル密度 (PSD)

本研究で用いた各時系列データのスペクトラムをサンプリング周波数の違いで比較した結果を図 3. 15. 1、図 3. 15. 2 に示す。

表 3. 8 データ (ID004、ID012) の PSD

データ	周波数 (Hz)	線種	PSD
ID004	888. 888...	短点線	図 3.15.1
	444. 444...	実線	
ID012	888. 888...	短点線	図 3.15.2
	444. 444...	実線	

表A デジタルフィルタの設計仕様

フィルタ形式	I I R (Infinite Impulse Responce)
フィルタタイプ	L P F (低域通過)
振幅特性	Butterworth
サンプリング周波数	888.88888888 (Hz)
第1カットオフ周波数	222.22222222 (Hz)
第1阻止域エッジ周波数	300 (Hz)
通過域減衰量	3 (dB)
阻止域減衰量	20 (dB)
フィルタ次数	4

表B デジタルフィルタの設計仕様

フィルタ形式	I I R (Infinite Impulse Responce)
フィルタタイプ	H P F (高域通過)
振幅特性	Butterworth
サンプリング周波数	444.44444444 (Hz)
第1カットオフ周波数	0.20 (Hz)
第1阻止域エッジ周波数	0.10 (Hz)
通過域減衰量	3 (dB)
阻止域減衰量	20 (dB)
フィルタ次数	4

3. 3 解析結果

3.3.1 ID004について

① μ_λ の値について

$\mu_\lambda = 0.999$ の場合のみ、何れのアルゴリズムを用いても、パラメータの変動に対して推定したパラメータ値ならびに極の値が未臨界度の変動に追従している。しかし、 λ_0 が 0.999 以外ではパラメータの追跡に問題がある。

② 活性化法の違いについて

活性化法を使用しないもの、PMA法を使用したものに比べ、PMDA法を使用したものが、パラメータの変動に対する追従性がよい。これは、PMDA法以外の活性化法では、パラメータ変動時にP-matrixの値が非常に小さい値になっており、小さな多少の誤差の変動には追従せず、大きくパラメータが変動した時にのみ急激に追い付く傾向がある。

3.3.2 ID012について

③ 活性化法の違いでは、②と同様の理由で活性化法の中ではPMDA法がパラメータ変動時に対して追従性がよい。

RPE & PMDA法について

- ④ λ_0 の違いでは、F-factor Initが0.90の時は、パラメータの収束性が悪く、妥当なパラメータ推定を行っているとは言えないが、 λ_0 が0.85の時は、妥当な推定を行っている。更に、 λ_0 を0.80以下に下げた方が収束性、追従性共に良い推定が行える。
- ⑤ μ_λ の違いでは、 μ_λ の値はやはり0.999が最も良く、パラメータ変動に対して追従性がよい。
- ⑥ 比較のために行ったELS & PMDA法は、RPE & PMDA法において最適の忘却係数を選んだ場合とほぼ同じ程度に良いアルゴリズムであると言える。

3. 4 結論

解析結果を総合判断すると、システムのパラメータが変動するような非定常状態のデータに対するパラメータ推定アルゴリズムとしては、RPE法において忘却係数の初期設定 λ_0 としてはできるだけ1に近い値にし、更新ファクタ μ_1 としては0.8以下にすることが望ましい。この様にパラメータ設定されたRPEアルゴリズムに対し、非定常時系列データにおけるパラメータ推定の追従速度を速めるアルゴリズムとして開発されたPMDA法を組み合わせる用いることが最適であると言える。

しかし、PMDA法では、PMA法に比べ計算時間がかかること、及び、RPE法では最適な忘却係数パラメータを探すことが必要である点等の問題があり、ELS法とPMDA法を組み合わせた方法による解析結果（図11.1～図11.4、及び図13）から判断すると、 λ_0 を常に1とするELS法にPMDA法を加えたアルゴリズムが非定常未臨界度推定アルゴリズムとして最も望ましいものである結論できる。

最後に、RPE & PMDA法を使用するにあたって忘却係数の各パラメータの仕様の注意点を二つ示す。

① 実験結果から、 λ_0 は0.90より小さく取った方がよい。

これは、(2.23)式から明らかのように、 λ_0 を小さく取ることによって、パラメータ更新時に一段階前の推定値を次回の推定値に大きく影響させるためである。つまり、過去の情報を重んじるようにすればよい。よって、 λ_0 は、0.85より小さく取った方が良い推定が行える傾向が見られる。

② 実験結果から、 μ_1 は少なくとも0.999以上にすることが望ましい。すなわち、非定常にすばやく対応させようとして、過去のデータにあまりあまりウェイトを掛けない推定を行おうとすると返って、正しい推定が行われない傾向にあることを示していると言える。従って、RPE & PMDA法では、忘却係数について①、②のことを考慮に入れなければならない。

4 D C A 実験データの解析

この章では、1994年10月5, 7日の両日に、動燃事業団・大洗工学センターのD C A 実験装置を未臨界状態運転したときの中性子検出器信号揺らぎデータの解析を行い、今後の実験のための知見を得る。

4. 1 D C A 実験装置の概要

D C A 実験装置の概要を表4-1、および図4-1に示す。
また、解析を行ったデータを表4-2に示す。

4. 2 D A T テープからの解析用データ取得方法

4.2.1 データの取得とサンプリング周波数の決定

D A T に記録されているサンプリング周波数48kHzでサンプリングされたデジタル信号を「SONY:PCMデータレコーダPC-108M」で読み取り、「DATA TRANSFER INTERFACE IF108」を通してNEC PC-9821A/2のハードディスクに記録した。

「SONY:PCMデータレコーダPC-108M」, 「DATA TRANSFER INTERFACE IF108」, 「PC-9800」の各デバイスの接続を図4-2に示す。

信号に含まれている周波数スペクトルの大まかな形を見るために、オリジナルデータを分周サンプリングし4000Hzサンプリングに相当するデータに変換した。次に、今回のD C A 実験データは1000Hzに遮断周波数を持つローパスフィルタ(LPF)を通してあるので、一般的にはその二倍である2,000Hzのサンプリング周波数でサンプリングするのが最も望ましい。また一般にはローパスフィルタ(LPF)のカットオフ周波数が1,000Hzである場合でも信号は急峻に減衰しないことから、先ず2,200Hz前後のサンプリング周波

数でサンプリングした。しかし、低周波領域の情報を見るためにはあまりサンプリング周波数を高くするのは好ましくない。

D A Tテープに記録されているデータは48 KHzサンプリング周波数であるから、48 KHzを分周レートで割った周波数しかサンプリング周波数として指定することが出来ない。そこで、次式

$$48000 \div 21 \approx 2285.714286 \text{ Hz}$$

$$48000 \div 22 \approx 2181.81818 \text{ Hz}$$

$$48000 \div 23 \approx 2086.956522 \text{ Hz}$$

から、2200 Hz前後の三種類の周波数でサンプリングし、そのパワースペクトラム密度 (P S D) の1000 Hz付近の特性に着目すると、サンプリング周波数が2086.956522 Hz, 2181.81818 Hzではエリアシングを生じるが、2285.714286 Hzではエリアシングを生じないことがわかった。これよりエリアシングが起こらない最低の周波数は2285.714286 Hzであることがわかった。よって、2285.714286 Hz (分周レート: 21) をサンプリング周波数に決定し、D A Tテープからはこの周波数分周レートでデータを計算機に取り込んだ。以後、A R M Aモデル同定を行うのに都合の良いようにこのデータを計算機上で加工して用いる。

ここで、参考のため幾通りかの周波数で分周サンプリングしたデータのP S Dを図4-3, 図4-4, 図4-5, 図4-6, に示す。

4.2.2 ローパスフィルタ (L P F) の設計及び高周波成分の除去

D C Aデータの高周波フーリエ変換 (F F T) によるパワースペクトラム密度 (P S D) の図より、200 Hz付近の周波数以下のデータが重要と判断し、200 HzのL P Fを通してそれ以上の周波数のデータを切り落とす為に最終的にはカットオフ周波数を200 HzのL P Fにデータを通すことにした。

今回使用したL P Fの仕様を表4-5, および図4-7 に示す。

D C Aデータから分周レート=21で取り出したデータに200 Hzの遮断周波数を持つフィルタに通した後のデータのP S Dを図4.8 に示す。

フィルタの仕様をこの様な設定にしたのは、次数についてはこの程度の次数による減衰が適当である為である。カットオフ周波数を180 Hz、205 Hz、210 Hzとして、L P Fを通した後に分周レート=105、すなわちサ

サンプリング周波数 457.1428571 Hz で取り出した時系列データの PSD をそれぞれ図 4-9、図 4-10、図 4-11 に示している。

これらのグラフはサンプリング周波数を 457.1428571 Hz とした後のグラフを使用しているが、マスターデータを LPF に通しただけのグラフでは、カットオフ周波数の変化によって起こる LPF の影響の違いが解りにくく、比較できないからである。

サンプリング周波数と次数を一定にしてこの 4 種類のカットオフ周波数を比較すると、180 Hz の場合は LPF の特性そのまま現れており ARMA モデル同定には不適當であり、また、210 Hz の場合にはエリアシングがはっきり現れているので適切ではない。さらに、205 Hz の場合、LPF を通してからデータを ARMA X モデルで推定した結果、AR、MA 各パラメータ値が収束せず値が変化し続ける為に、このカットオフ周波数も適切ではなく最終的に 200 Hz に決定した。

4.2.3 サンプリング周波数の変更

マスターデータから直接低い周波数でサンプリングすると、エリアシングが生じてしまうので、そうすることは出来ない。その為に、LPF を通してマスターデータから 5 個ずつデータを取り出すプログラム (PICKUP.EXE) で分周周波数を下げ、それによって低周波数領域のデータをエリアシング無しにサンプリングした。

5 個ずつにしたのは、

$$3 \text{ 個ずつなら} \dots 48000 \div (21 \times 3) \approx 761.9047619 \text{ Hz}$$

$$4 \text{ 個ずつなら} \dots 48000 \div (21 \times 4) \approx 571.4285714 \text{ Hz}$$

$$6 \text{ 個ずつなら} \dots 48000 \div (21 \times 6) \approx 380.952381 \text{ Hz}$$

となり、LPF は 200 Hz のフィルタを通してしているので、200 Hz の 2 倍である 400 Hz に近くなるように分周レートを 105 にした。

これにより分周周波数は分周レートが 21 の 5 倍の 105 になり周波数は、

$$48000 \div (21 \times 5) \approx 457.1428571 \text{ Hz}$$

から 457.1428571 Hz になった。

4.2.2 までの作業をしたデータから 5 個ずつデータを取り出し、そのデータの FFT による PSD、AR、MA 各パラメータ値、POLE 値、AR、MA 各パラメータによる PSD を図 4-12 ~ 図 4-18 に示す。

またAR, MA各パラメータ値のグラフの線種は次の通りである。この線種は、この後の手順におけるパラメータ値のグラフでも同様である。

ARMA(2,2)の場合

パラメータの種類	AR1	AR2	MA1	MA3
線の種類	太い ←-----→ 細い			

ARMA(3,3)の場合

パラメータの種類	AR1	AR2	AR3	MA1	MA2	MA3
線の種類	太い ←-----→ 細い					

4.2.4 データの平均値除去処理

4.2.1~4.2.3までの手順のみのデータでARMAX1.EXEを使用して、そのAR, MAの各パラメータを求め、そのパラメータから、PSDを計算するPO3.EXEを使用してスペクトルを求めてみると低周波領域がFFTから求めたPSDよりもかなり大きな結果になっている。これは元のデータにはない情報なので誤った推定をしていることがわかる。これをなくすために平均値除去処理をする。

図4.19(c)のような測定データから原信号を推定する場合には、測定データからドリフト雑音を取ればよいことは明らかである。今、測定データの時系列を{f_n}とし、原信号の推定値{g_n}を、

$$g_n = f_n - \frac{f_{n-5} + \dots + f_{n-1} + f_n + f_{n+1} + \dots + f_{n+5}}{11}$$

= [測定データ] - [ドリフト雑音の推定値]

で計算するものとしよう。この方法は、隣接する11個の測定データの平均値

(移動平均に相当)を計算し、測定データから平均値を差し引いたものを推定値とするものである。つまり図4.19(b)のように平均値を計算する区間を1サンプル点ずつずらしながら区間内の測定データの平均値を計算するもので、ドリフト雑音の推定を行っている。さらに、測定データからドリフト雑音の推定値を差し引けば図4.19(f)の結果が得られ、原信号の推定が可能であることがわかる。

平均値除去処理後のデータのFFTによるPSD, ARMAX1モデルによるAR, MA各パラメータ値, POLE値, AR, MA各パラメータからのPO3.EXEによるPSDを図4-20～図4-26に示す。

ちなみに、平均値はどのデータIDでも4000～4500の間の値になった。

4.2.5 ハイパスフィルタ (HPF) の設計及び低周波成分の除去

HPFと平均値除去は同じ働きを持ち両方を行う必要はないが、より良い推定を行う為、念のために行った。

今回、HPFの設計にあたっては過去のデータのHPFを参考にして、カットオフ周波数：0.2 Hz、フィルタ次数：4次とした。

表4-6, 図4-27に今回のHPFの仕様を示す。

HPFに通したデータのFFTによるPSD, AR, MA各パラメータ値, POLE値, AR, MA各パラメータからのPO3.EXEによるPSDを図4-28～図4-34に示す。

4.2.6 ARMAXモデルによる未臨界度推定

上記の4.2.1～4.2.5の作業を行ったデータからARMAモデル同定を実行して各パラメータを推定し、モデル次数2次に対し{AR1～2, MA1～2, POLE}、3次に対し{AR1～3, MA1～3, POLE}をCUTPARAM.EXEで切り出しAR, MA各パラメータ値とPOLE値に分けてその推定値の変化を示した。

また、ARMAモデル同定による結果からAR, MA各パラメータが収束した時点の値を読み取り、そのパラメータからのPSDの推定を行った。そして

4.2.1~4.2.5の作業を行ったデータのからFFTにより求めたPSDとARMAモデルによるPSDを比較し、この結果を「4.3 推定結果」にまとめて示した。

4.3 推定結果及び結論

本年度、動燃事業団・大洗工学センターのDCA実験装置を用いて行われた未臨界定常運転時の中性子信号揺らぎデータを解析した結果、未臨界度が0~\$11.2に対し、周波数スペクトル折れ点周波数は数Hzから数十Hzの間に分布していることが分かった。

データ取り込みのための知見

① DATテープに記録されているデータは48KHzサンプリング周波数であるから、48KHzを分周レートで割った周波数しかサンプリング周波数として指定することが出来ない。そこで、2200Hz前後の三種類の周波数でサンプリングし、そのパワースペクトラム密度(PSD)の1000Hz付近を比較してみた。するとサンプリング周波数が2086.956522Hz, 2181.81818Hzではエリアシング生じるが、2285.714286Hzではエリアシング無しにサンプリングできていることがわかった。これよりエリアシングが起こらない最低の周波数は2285.714286Hzであることがわかった。

よって、2285.714286Hz(分周レート:21)をサンプリング周波数に決定した。

② LPFは200Hzのフィルタを通してあるので、200Hzの2倍である400Hzに近くなるように分周レートを105にした。

これにより分周周波数は分周レートが21の5倍の105になり周波数は、

$$48000 \div (21 \times 5) \approx 457.1428571 \text{ Hz}$$

から457.1428571Hzになった。

以上の結果から、次回DCA実験を行うための知見をとして、中性子信号揺らぎをデータレコーダで記録する場合、遮断周波数が500Hz程度の比較的シ

ャープな特性を持つローパスフィルターを用いればよい。この様なローパスフィルターを用いることにより、D A Tデータレコーダで記録された信号は、計算機を通してエリアシングを生じることなく48分1分周サンプリングできるため、比較的長時間の連続データを収集することが可能となるばかりでなく、その後の信号処理も非常に簡単になる。

5 結論と今後の課題

結 論

オンラインARMAモデル同定アルゴリズムを用いて未臨界度が浅い状態から深い状態に変化する場合の非定常状態での未臨界度推定を最適に行うアルゴリズムに関する知見を得るため、昨年度の解析で得た知見を基にして、アルゴリズムとして最も一般的なRPE法に対しパラメータサーベイを昨年度と同じデータに対して行うと共に、動燃事業団のDCA実験から得られた中性子検出器信号出力揺らぎも併せて解析し、以下の結論をえた。

1. 一般的な逐次型ARMAモデル同定アルゴリズムでは、パラメータの変化を追跡する能力の点で十分ではない。これは、用いているアルゴリズムが本質的には定常状態にある時系列の解析に適したものであり、定常時系列に対して有効なアルゴリズムとなっている。すなわち、パラメータ推定を開始してから一定時間定常状態が続いた状態では、パラメータ修正係数が非常に小さい値に収束し、パラメータのばらつきが押さえられる。従って、パラメータ推定を開始してから一定時間定常状態が続いた後でシステムパラメータの変化が生じた場合、パラメータ修正係数が非常に小さい値であるため、それまでの定常状態を表すモデルが推定する予測値と実際の観測データとの誤差が相当大きくなるとパラメータの修正に効果が現れない。これが、パラメータの変動の追跡能力を低下させる原因である。そこで、状態変化が予め予測されるような場合にたいして、パラメータ修正係数を常にある値以上となるよう工夫し、システムの状態変化を素早くモデルパラメータの修正に反映出来るようなアルゴリズムが要求される。しかし、修正係数をある一定値に保つと定常な状態にも関わらず推定パラメータの変動が大きくなり安定したパラメータ推定ができなくなる。

そこで、昨年度は非定常時系列に対応できアルゴリズムとしてパラメータの修正ゲインを支配するパラメータの分散行列（P行）に一定間隔で定数を掛けてP行列を列活性化する方法（P行列活性化法）を提案し、この

方法が非定常状態でのパラメータ推定に有効であることを示した。

しかし、未臨界度が浅い状態から深い状態に変化する場合、P-行列活性化法を用いても、その逆の場合に比べてパラメータ追跡能力の改善が顕著ではなかった。この問題に対して、今年度は、P行列の対角要素のみを活性化する手法を提案し、昨年度と同じデータに対してこの手法を用いた結果、昨年度見られたような問題が生じないことを示すことができた。すなわち、逐次型ARMAモデル同定アルゴリズムとして最も一般的なRPE法に関しては、アルゴリズムの中で用いるパラメータを適切に選び、併せてP行列対角要素活性化法を用いれば、未臨界度が浅い状態から深い状態に変化する場合に対しても変動する未臨界度の推定が有効に行えることが確認された。また、RPE法の特殊な場合であるELS法とP行列対角要素活性化法の併用も非常に有効なアルゴリズムであることが確認できた。これらの結果と、昨年度の成果を総合すると、非定常状態の未臨界度推定においては、基本アルゴリズムとしてはELS法を選択し、本研究で新たに用いたP-行列対角要素活性化法(PMDA法)を採用すれば、一般的な非定常状態に於いて、Over Estimation現象、Under Estimation現象を起こすことなく適切な未臨界度推定が行えることが分かった。

2. 本年度、動燃事業団・大洗工学センターのDCA実験装置を用いて行われた未臨界定常運転時の中性子信号揺らぎデータを解析した結果、未臨界度が0～\$11.2に対し、周波数スペクトル折れ点周波数は数Hzから数十Hzの間に分布しており、中性子信号揺らぎをデータレコーダで記録する場合、遮断周波数が500Hz程度の比較的シャープな特性を持つローパスフィルターを用いればよい。この様なローパスフィルタを用いることにより、DATデータレコーダで記録された信号は、計算機を通してエリアシングを生じることなく48分1分周サンプリングできるため、比較的長時間の連続データを収集することが可能となるばかりでなく、その後の信号処理も非常に簡単になる。

今後の検討課題

最後に、本研究の結論から導かれる今後の課題と展望について述べる。

これまで、本研究では主に近畿大学原子炉から得られた実験データを中心に解析を行ってきたため、比較的臨界に近い未臨界状態の未臨界度推定しか行っていない。このことは、本研究で検討してきたアルゴリズムが比較的 S/N 比の高い時系列に対して有効であることを示したもので、実用化を考えると今後は比較的深い未臨界度あるいは S/N 比の悪い状態での実験データを解析して、本手法が有効であるかどうか検討する必要がある。また、結論でも述べたようにここで用いているアルゴリズムは、どちらかと言えば定常時系列のモデル同定アルゴリズムを無理に非定常状態に適用できるように工夫しているものであり、この点に関する検討が必要である。

良く知られているように、システムのパラメータが変動する非定常問題に対しては、制御工学では適応フィルタの概念が良く用いられている。しかし、この手法では、推定パラメータの修正法が逐次型ARMAモデル同定手法とは全く異なり、望ましい値と推定値の差（誤差）に直接一定の修正係数を掛けるパラメータ修正法を用いており、従って、データの変動に即応しすぎて推定されたパラメータの統計的ばらつきが大きくなり過ぎることと、更に、パラメータ修正係数が逐次型ARMAモデル同定手法のように自動的に決まらないため、この修正係数の決定を試行錯誤で決めなくてはならない点が問題である。ただ、即応性が良いと言う点で、適応フィルタを未臨界度推定に用いる研究も重要なテーマであろう。

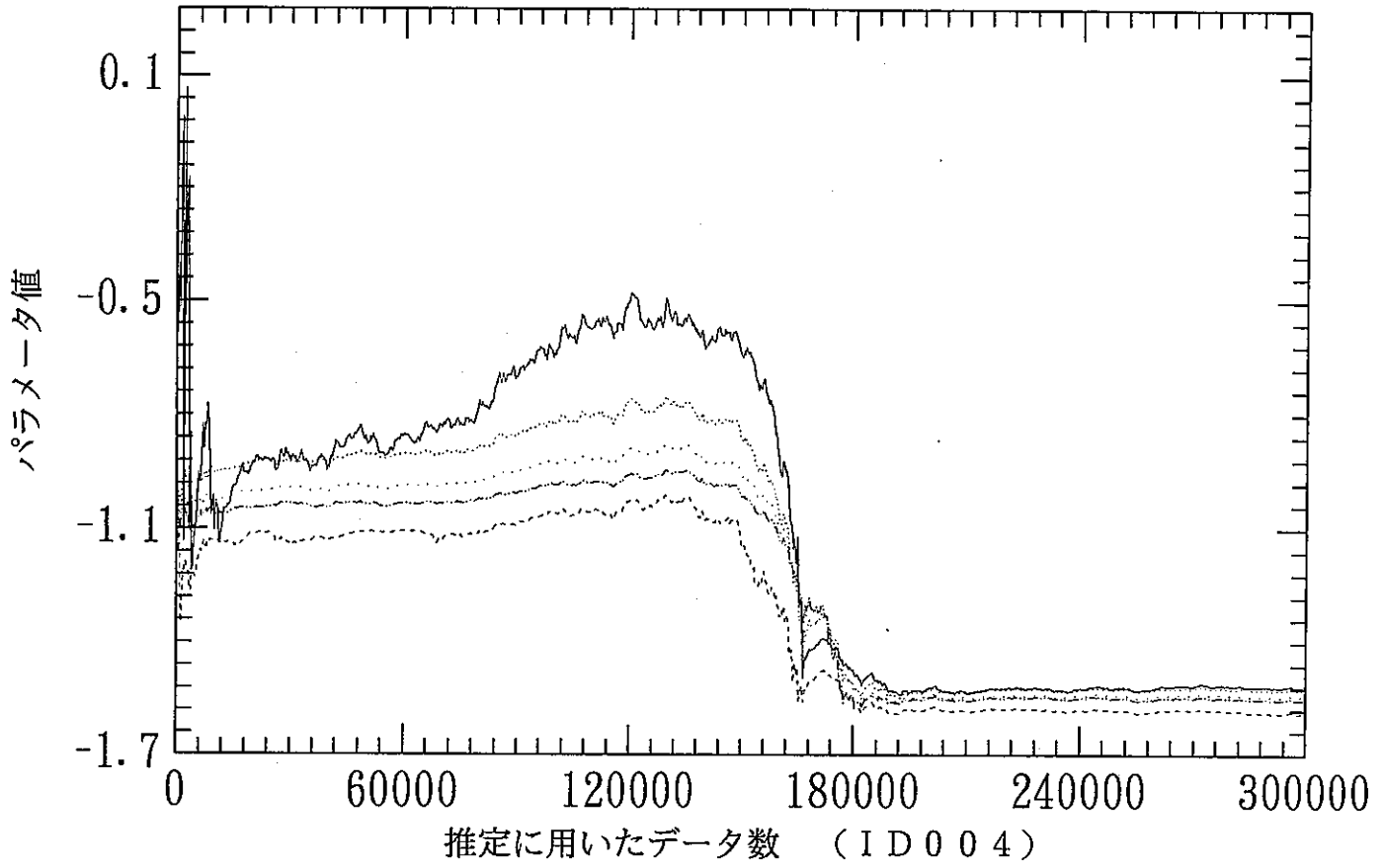


図3.1.1 1st AR parameter
(RPE with F factor Init:0.90)

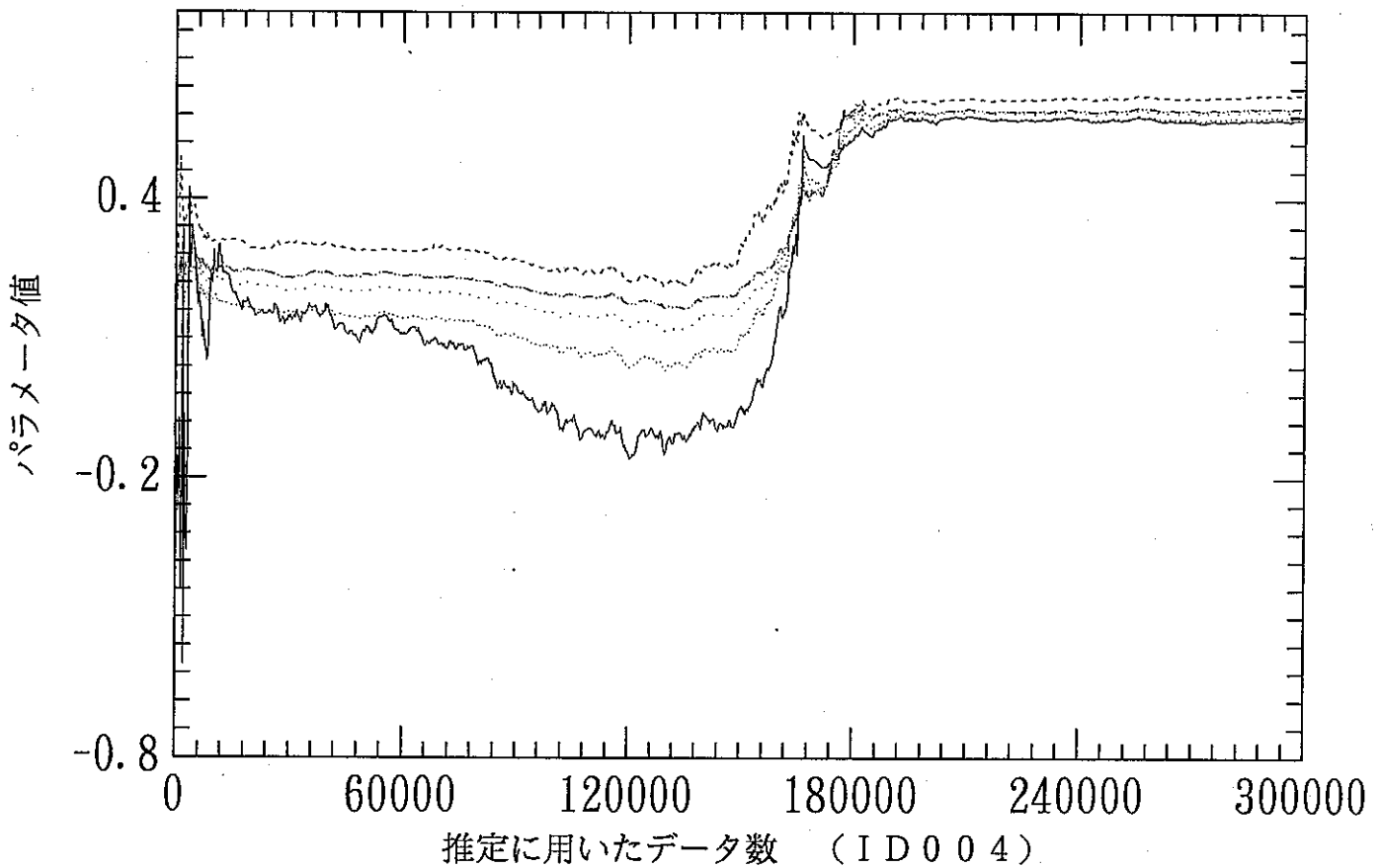


図3.1.2 2nd AR parameter
(RPE with F factor Init 0.90)

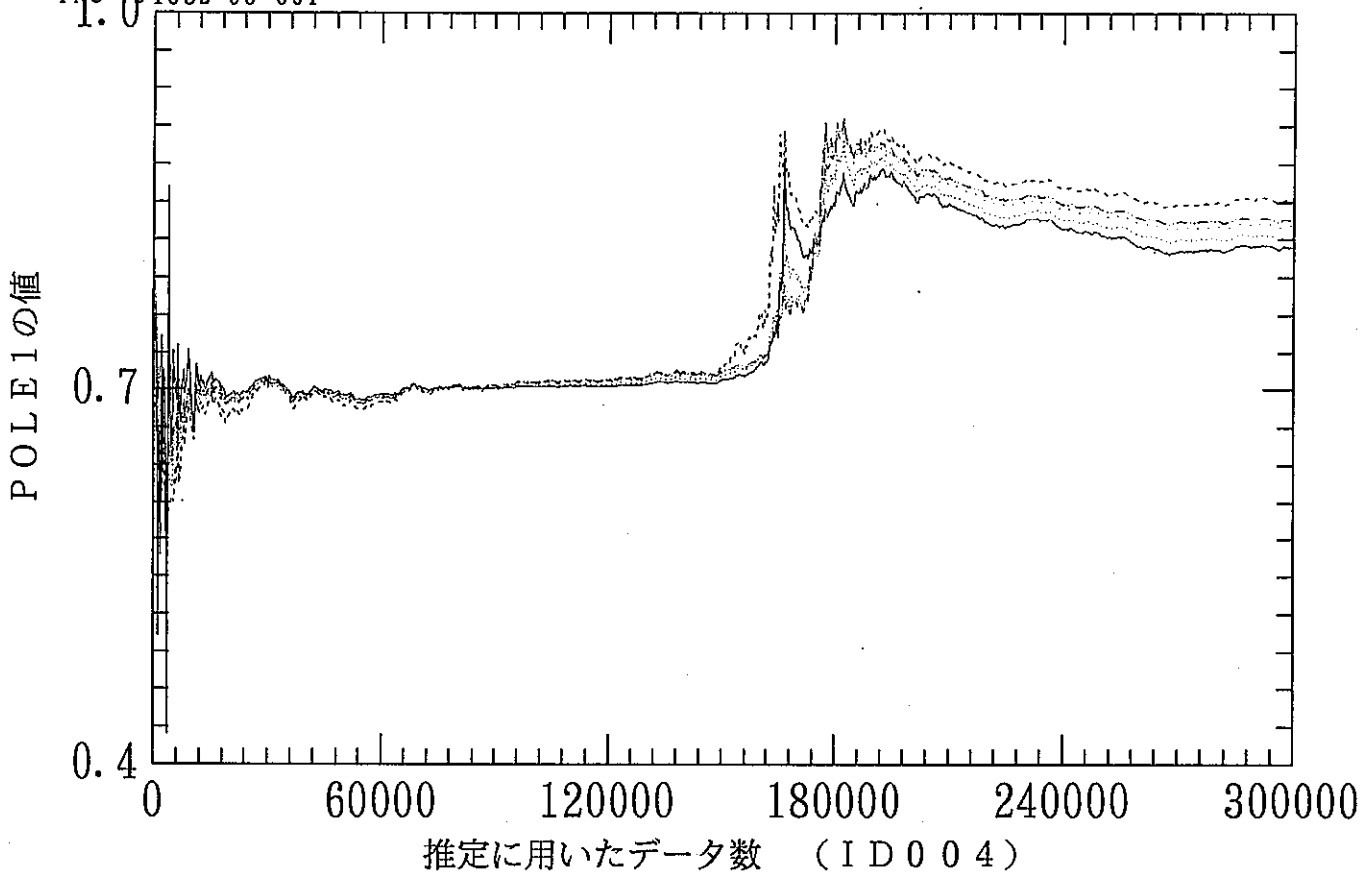


図 3.1.3 POLE 1 of ARMA(2, 2)model
(RPE with F factor Init:0.90)

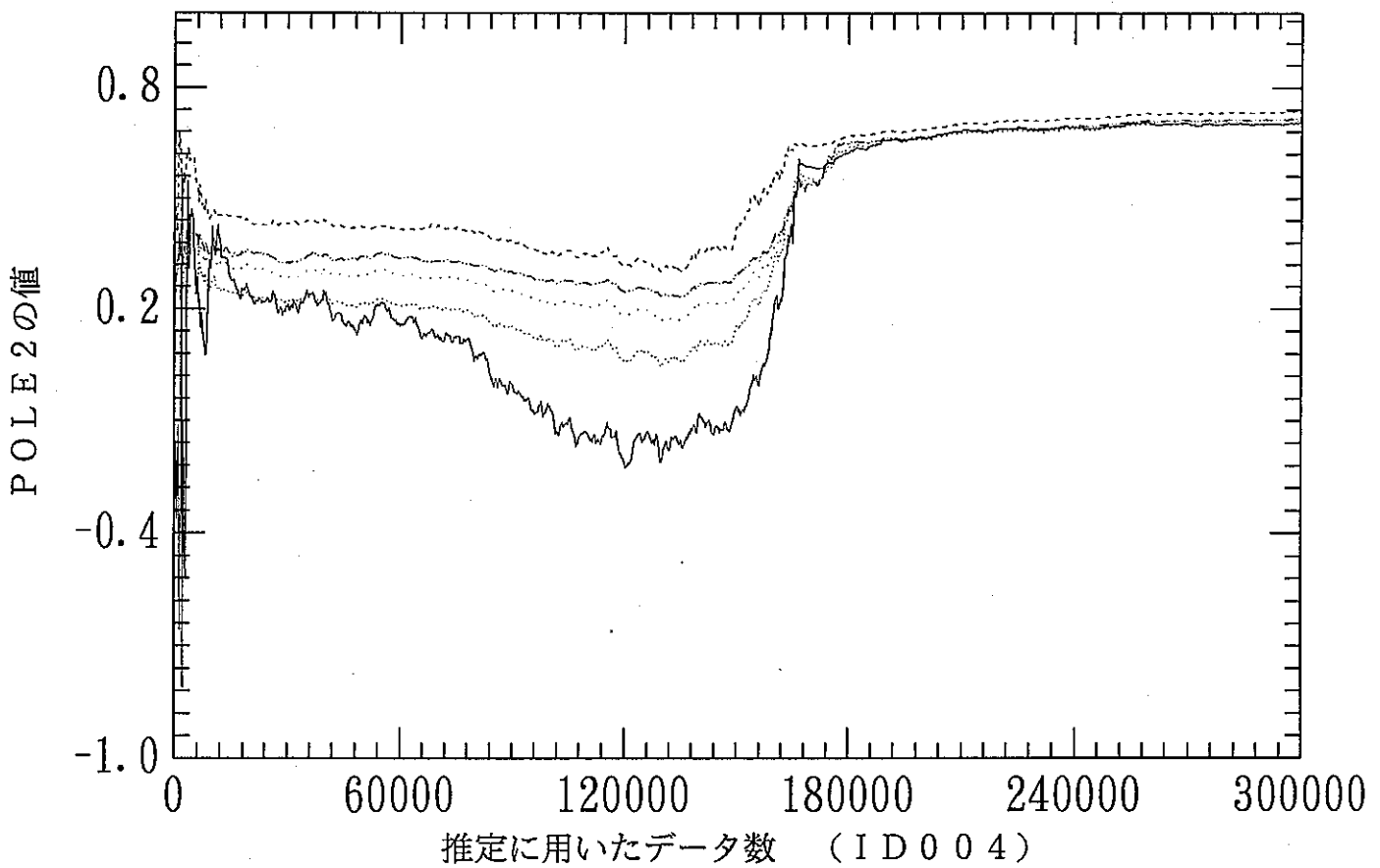


図 3.1.4 POLE 2 of ARMA(2, 2)model
(RPE with F factor Init:0.90)

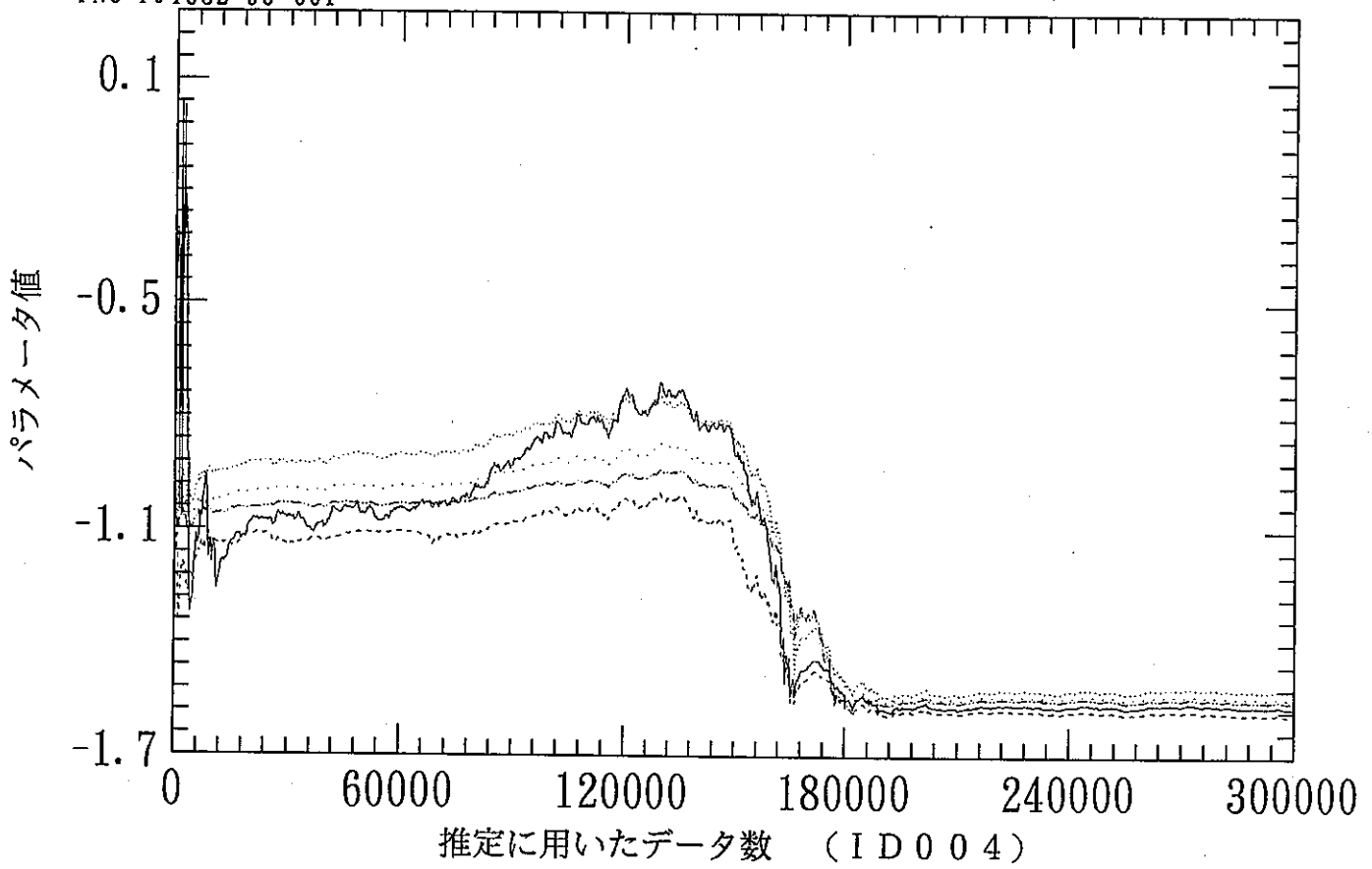


図 3.2.1 1st AR parameter
(RPE&PMA with F factor Init:0.90)

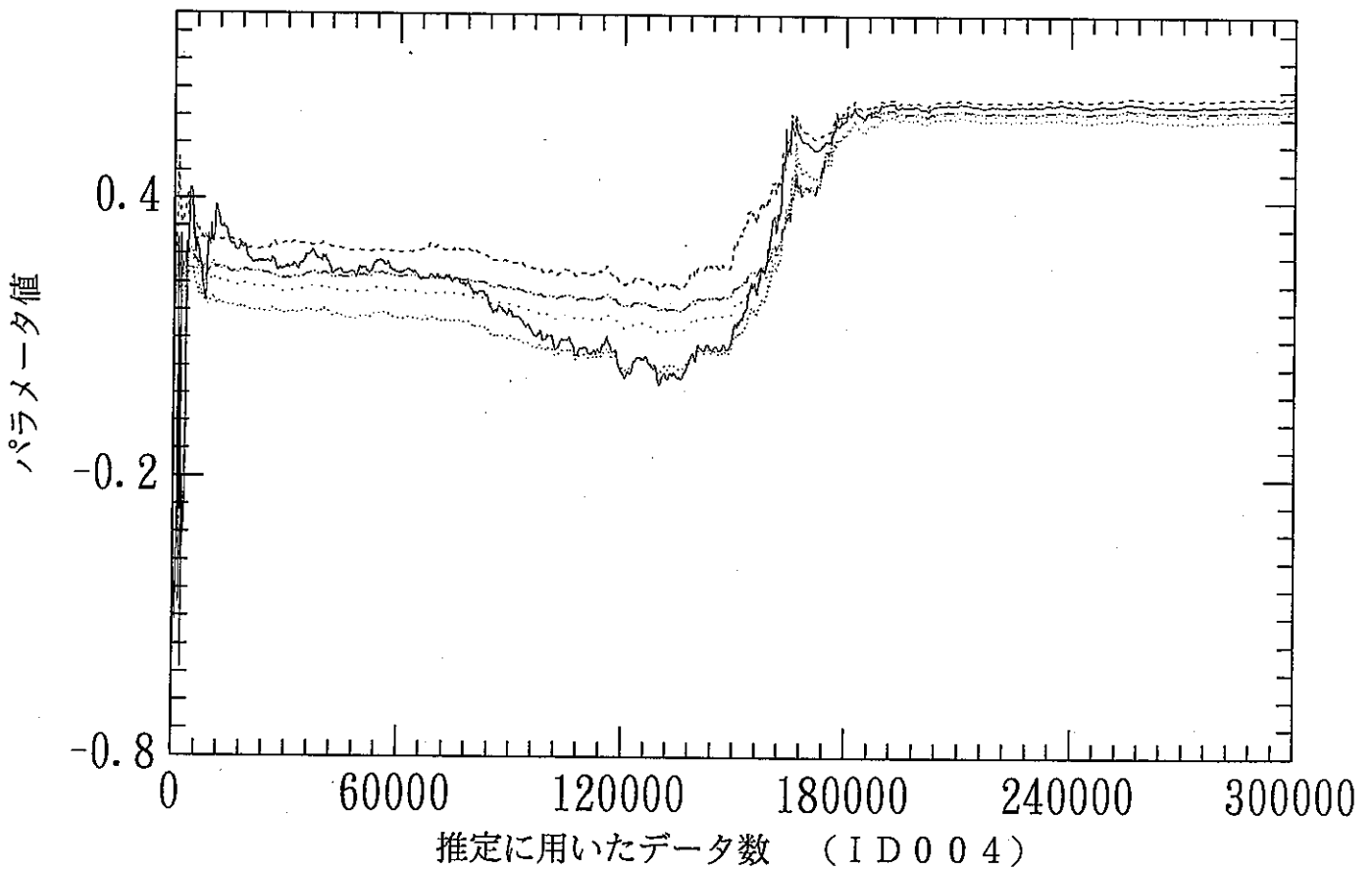


図 3.2.2 2nd AR parameter
(RPE&PMA with F factor Init 0.90)

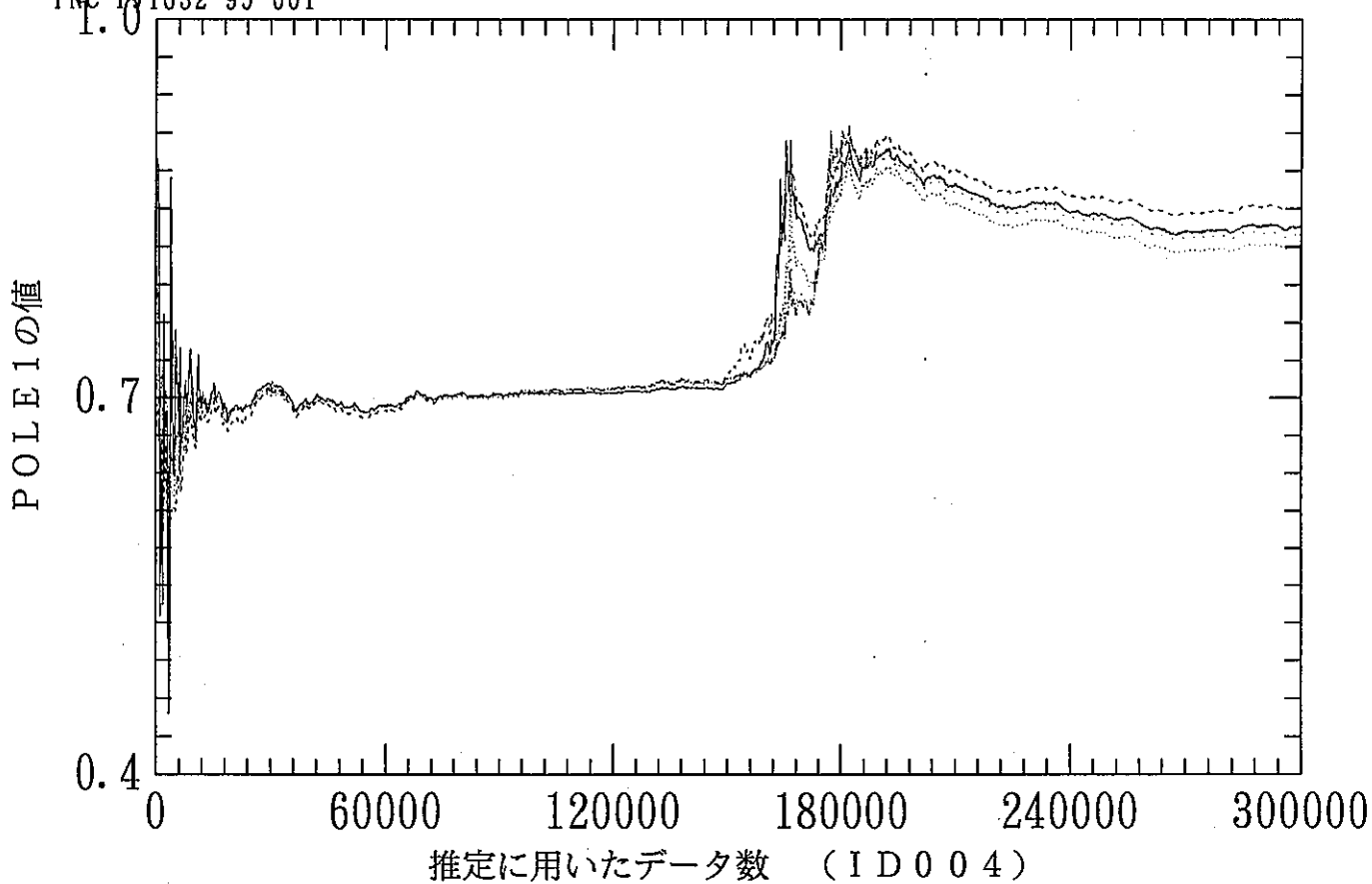


図 3.2.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMA with F factor Init:0.90)

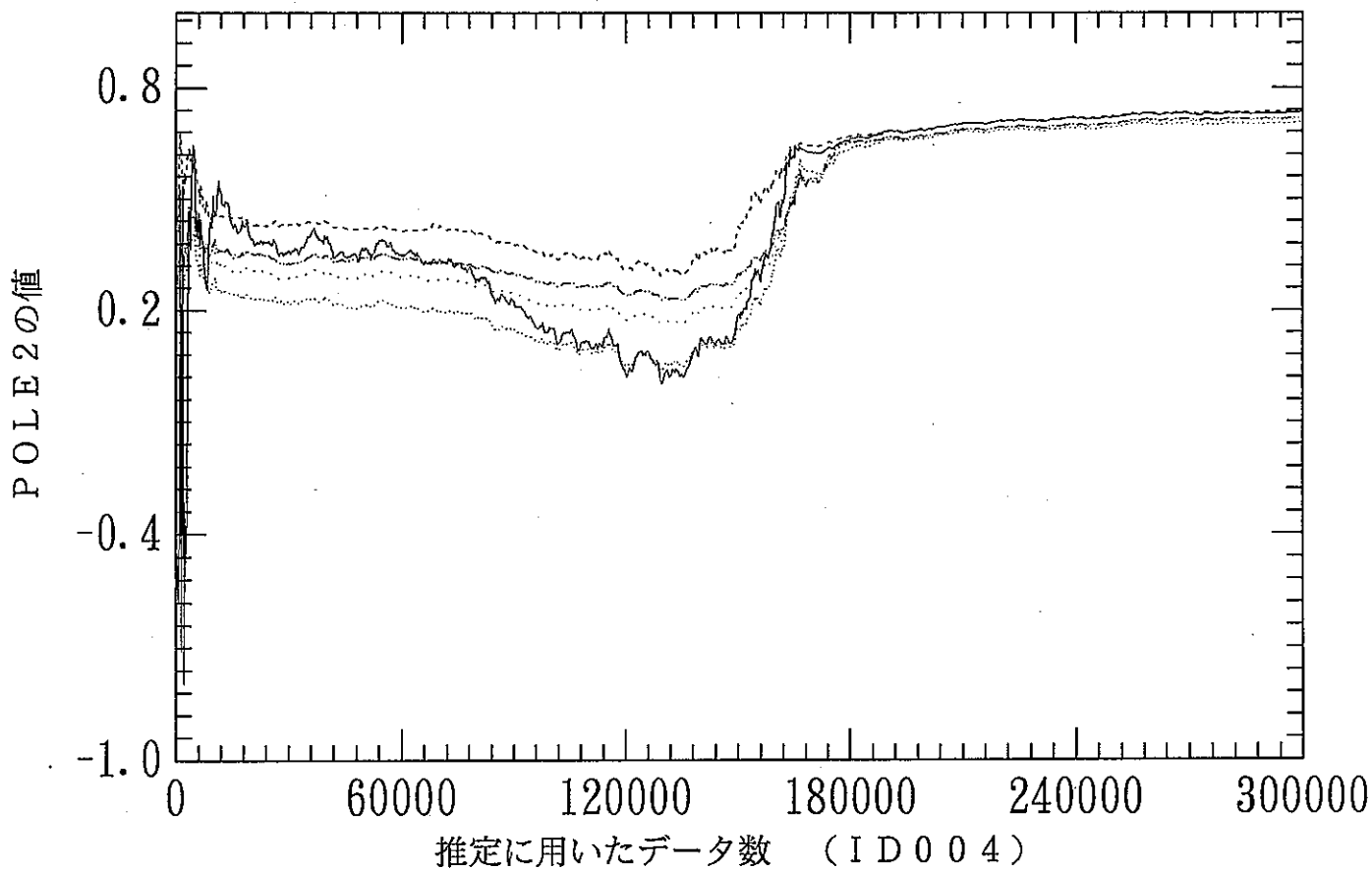


図 3.2.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMA with F factor Init:0.90)

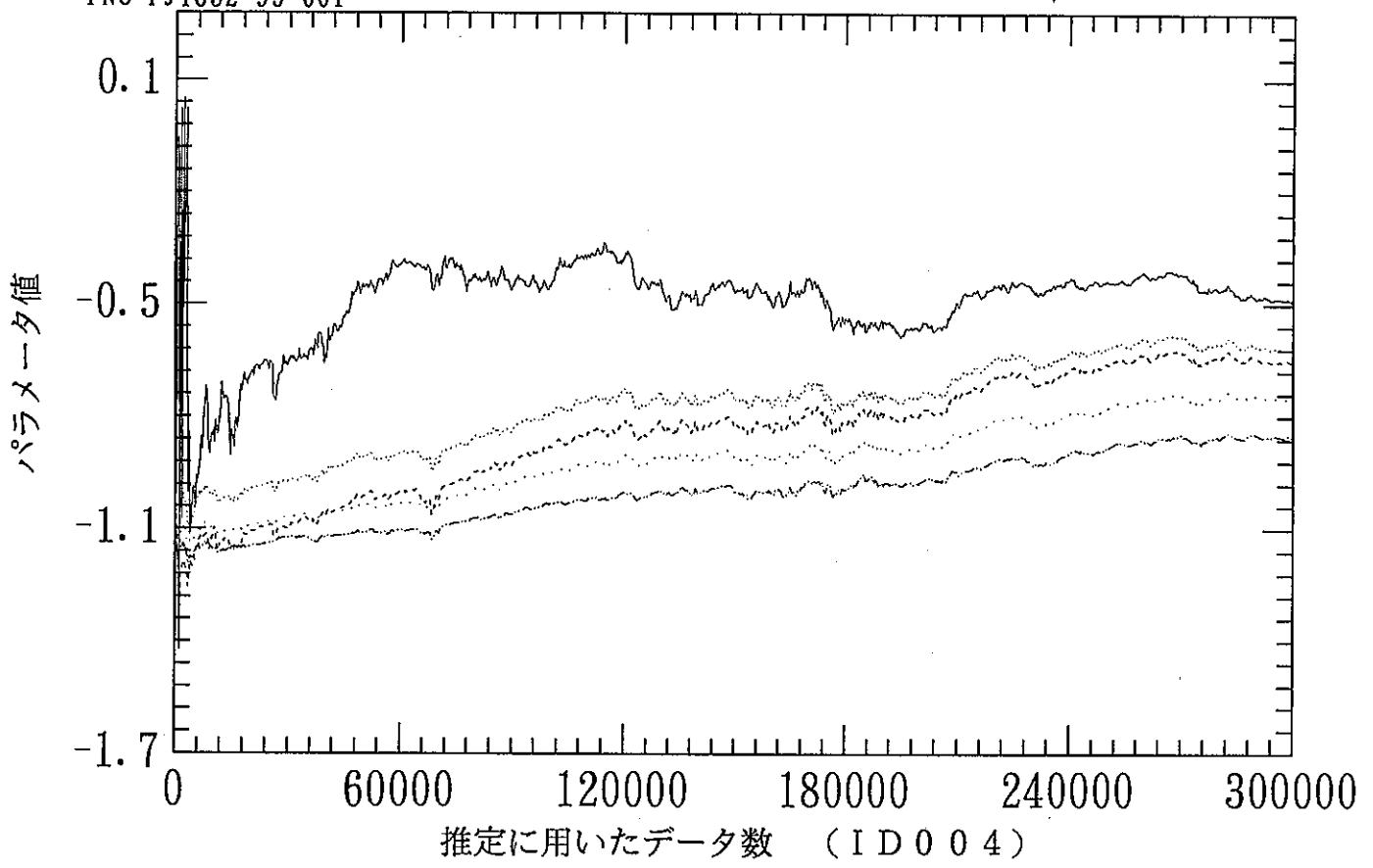


図 3.3.1 1st AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init:0.90)

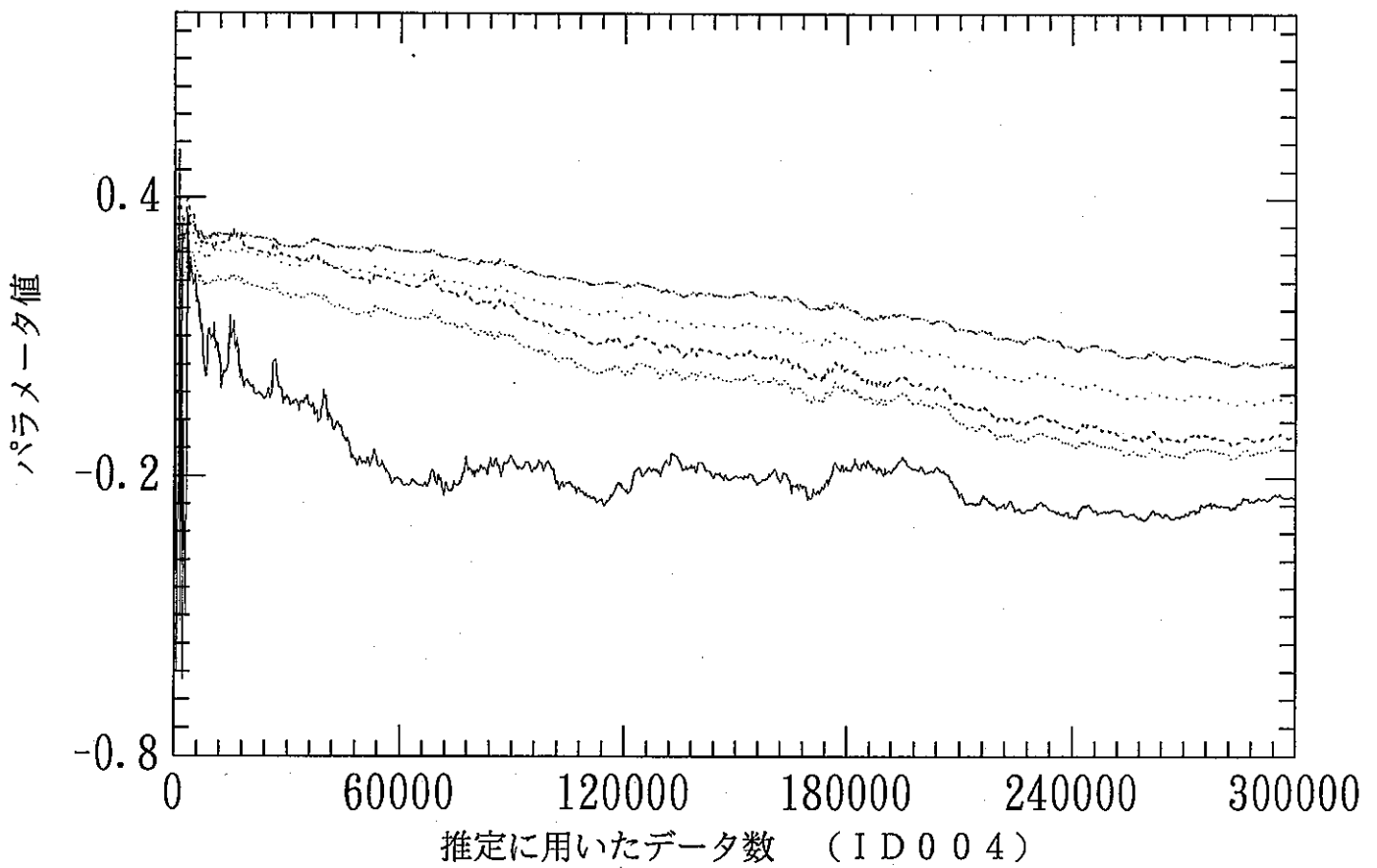


図 3.3.2 2nd AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init 0.90)

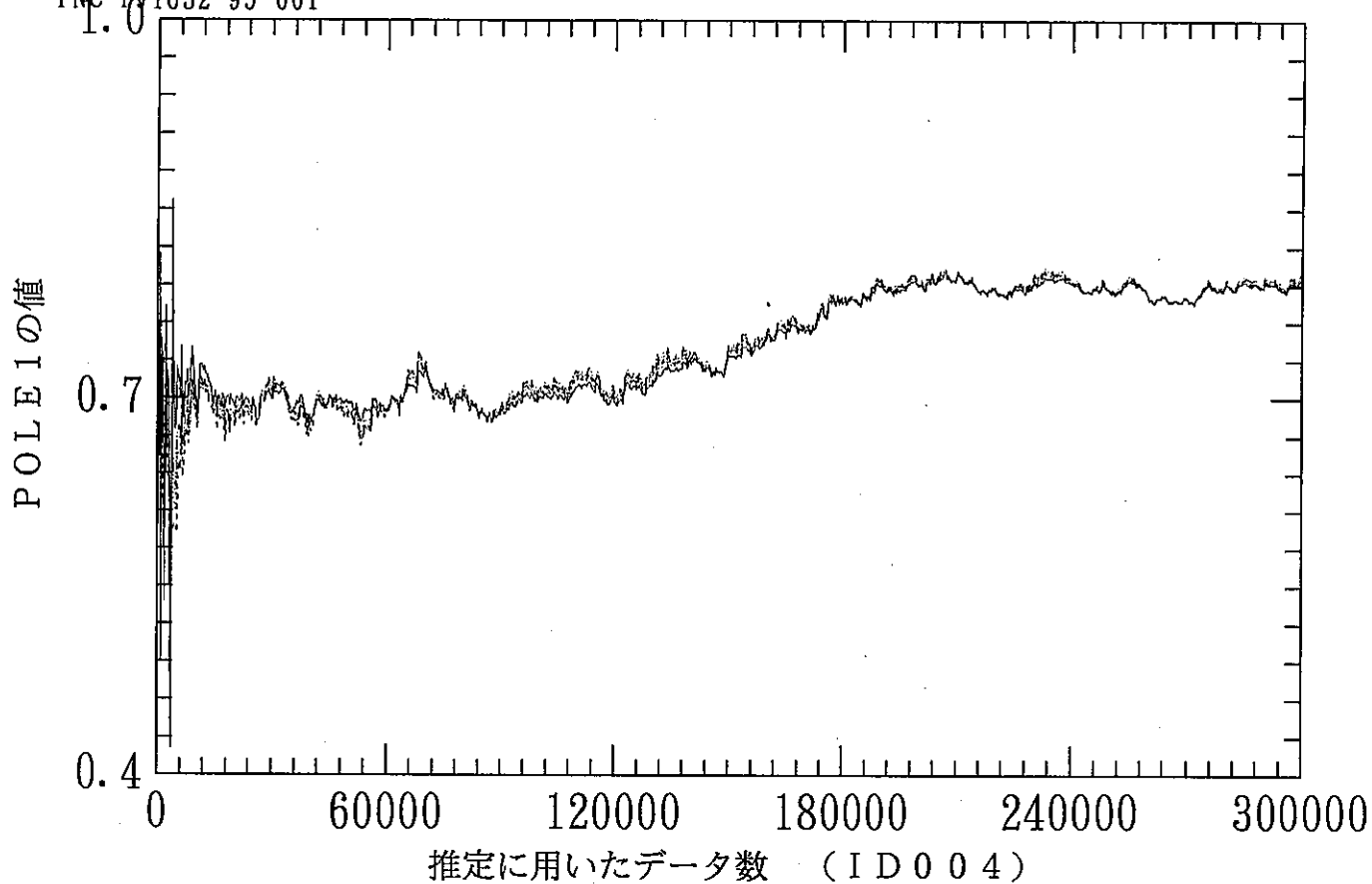


図 3.3.3 POLE 1 of ARMA(2, 2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.90)

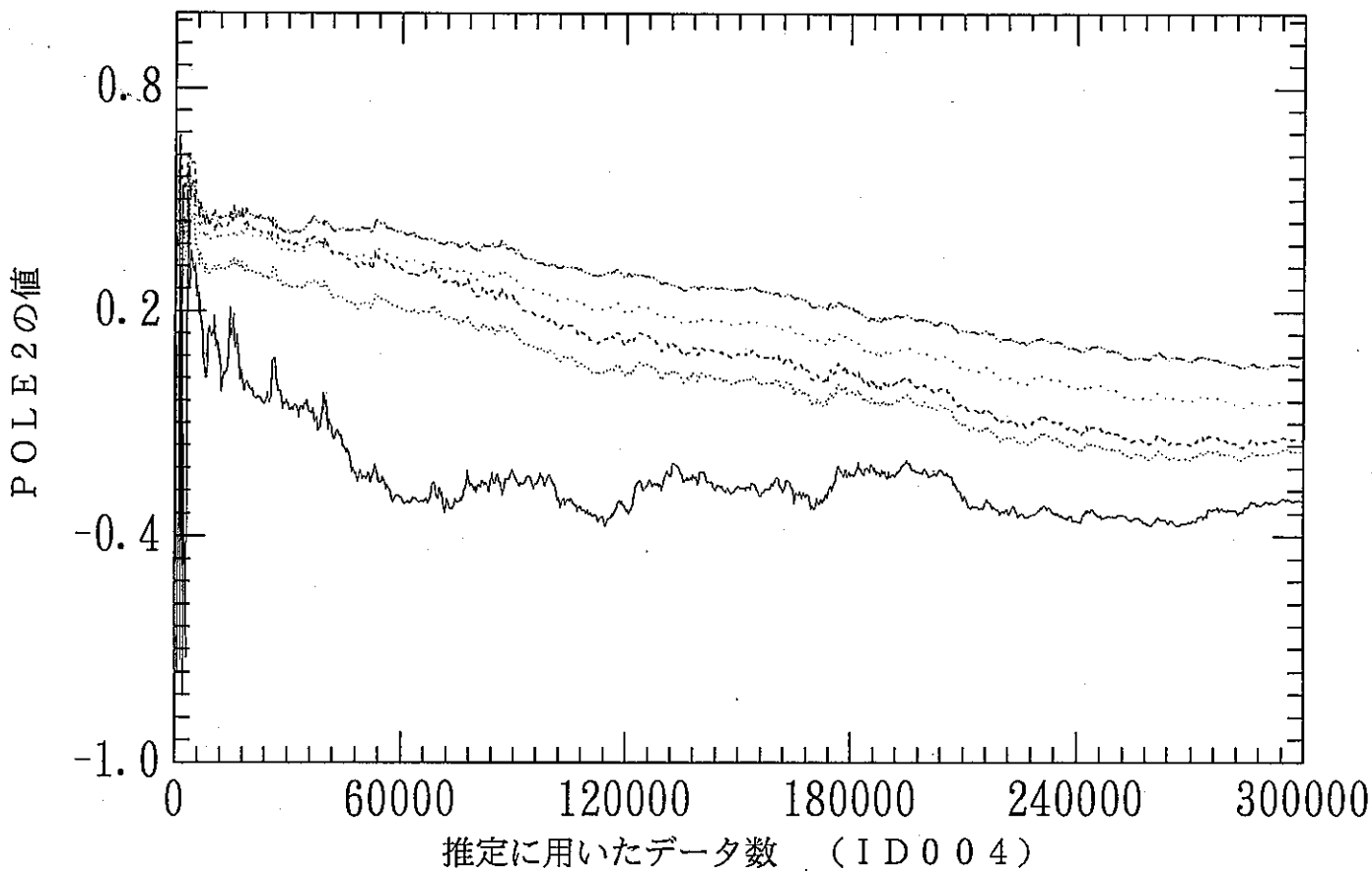


図 3.3.4 POLE 2 of ARMA(2, 2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.90)

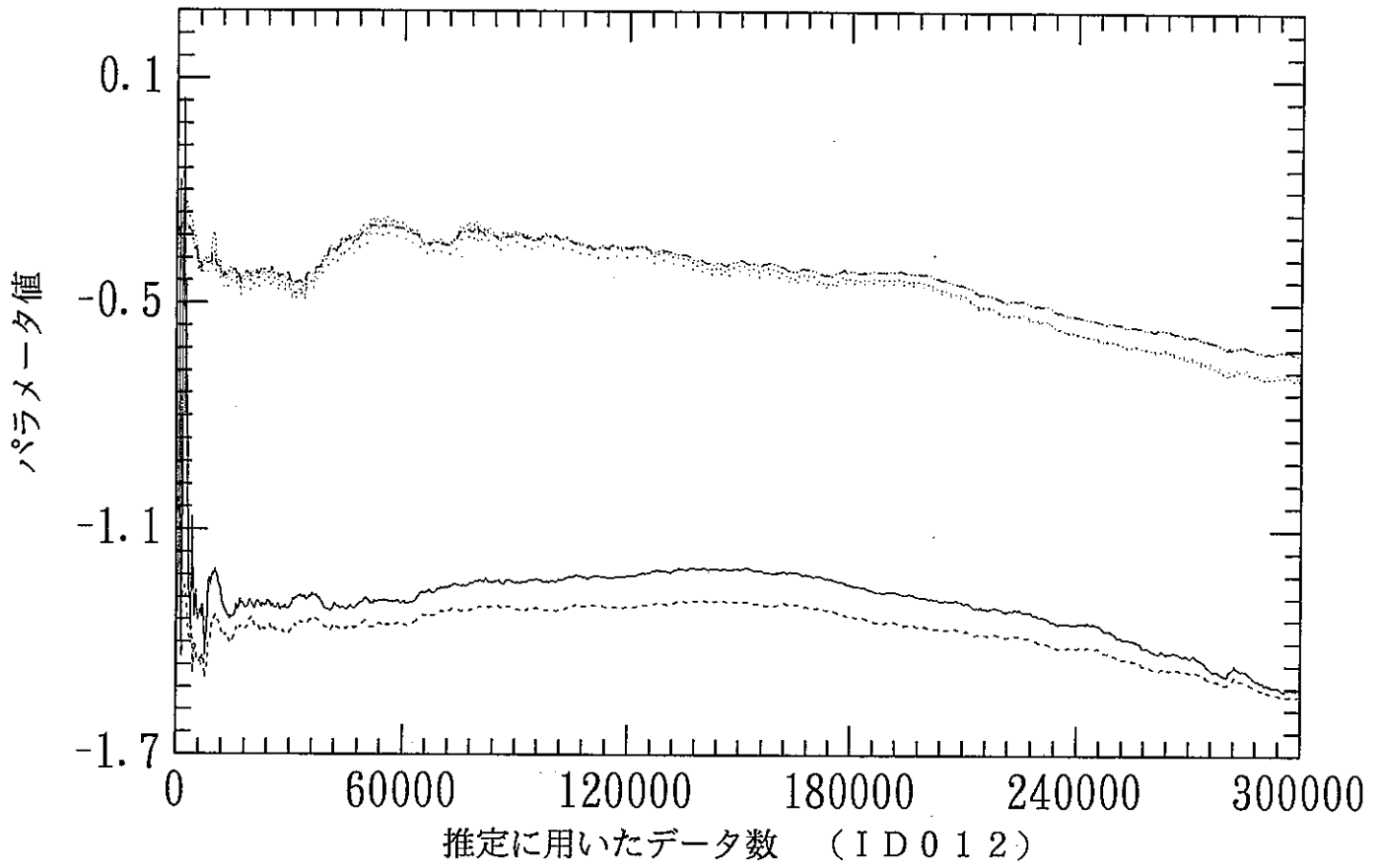


図 3.4.1 1st AR parameter
(RPE with F factor Init:0.90)

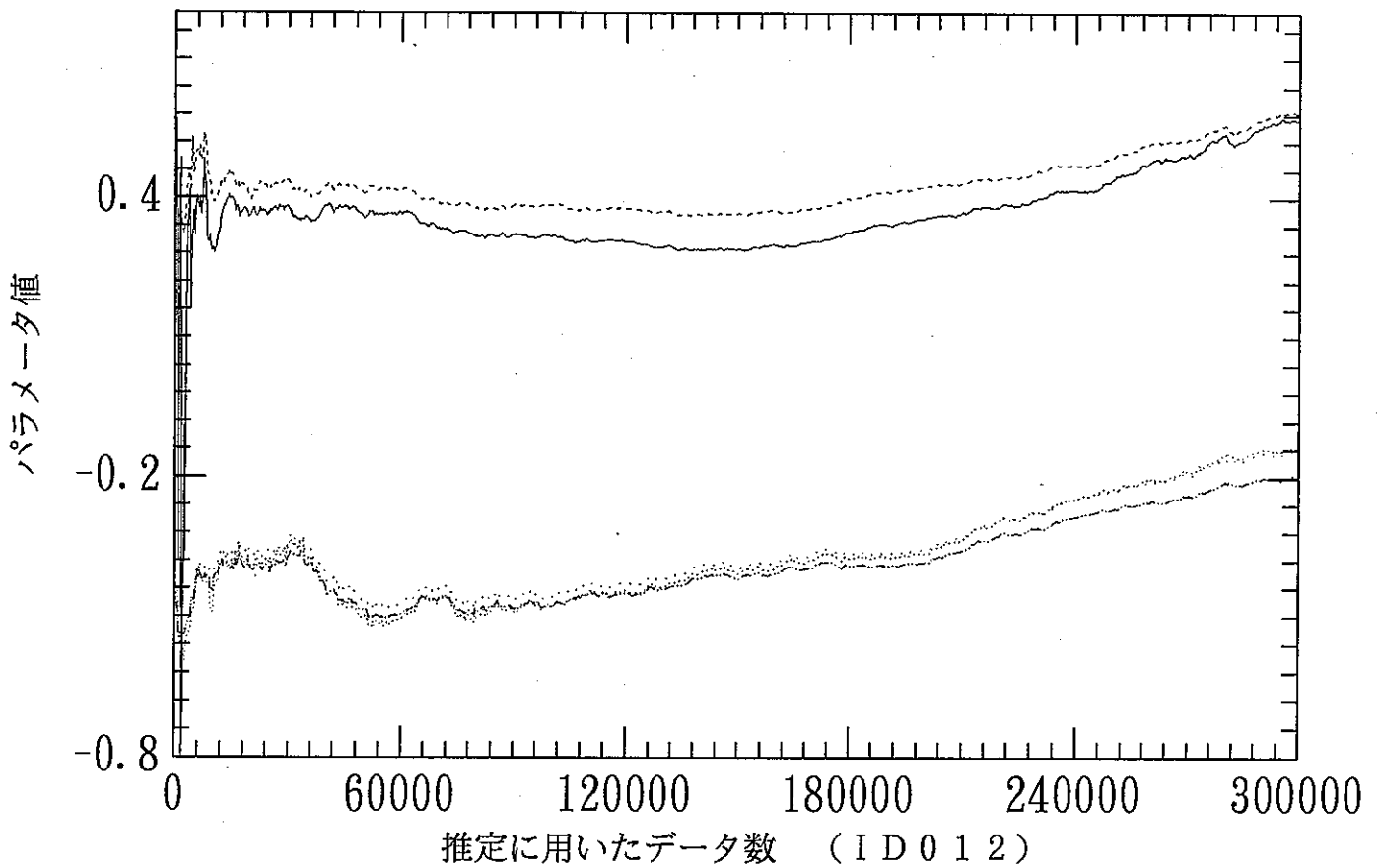


図 3.4.2 2nd AR parameter
(RPE with F factor Init 0.90)

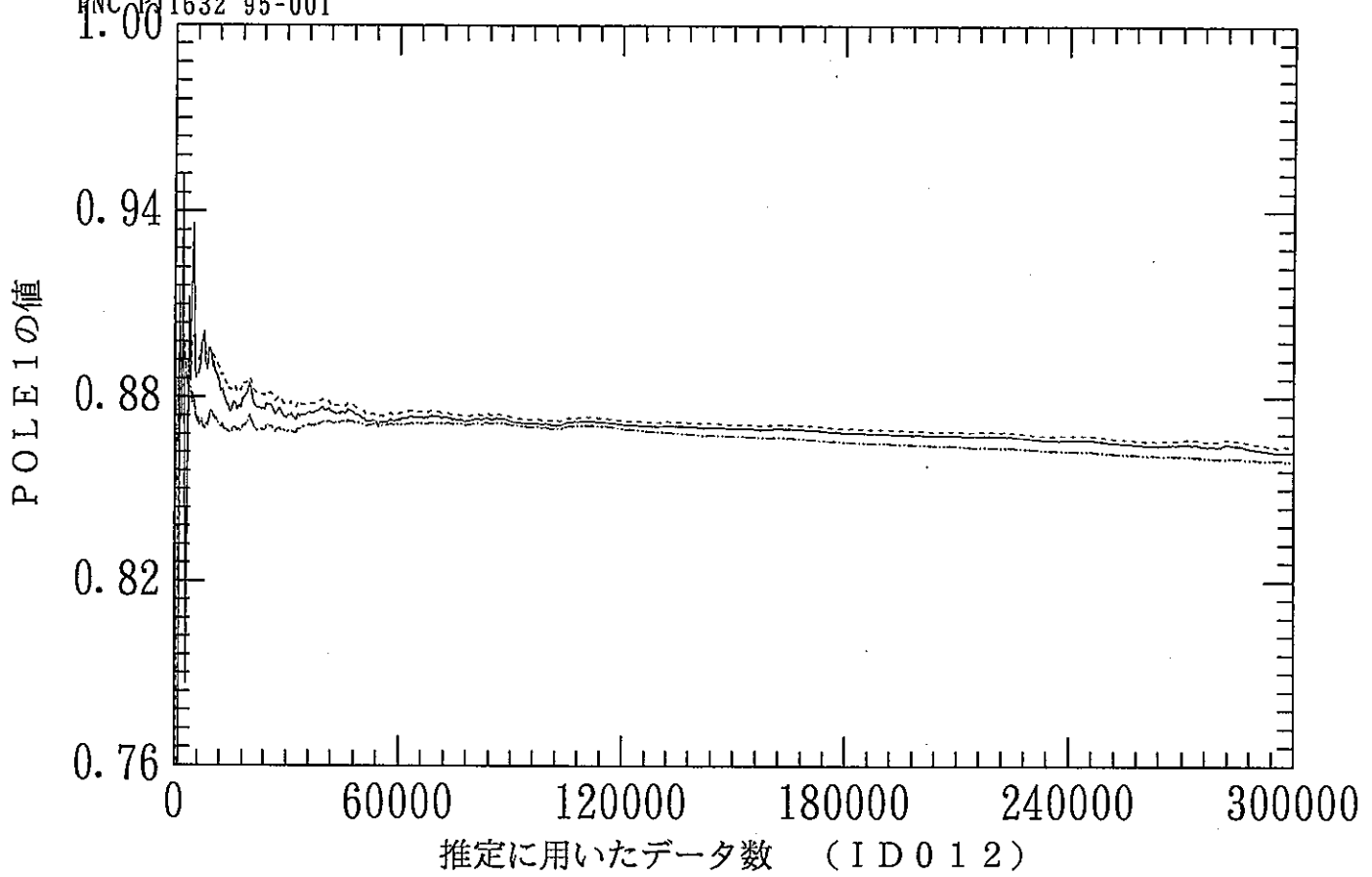


図 3.4.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(RPE with F factor Init:0.90)

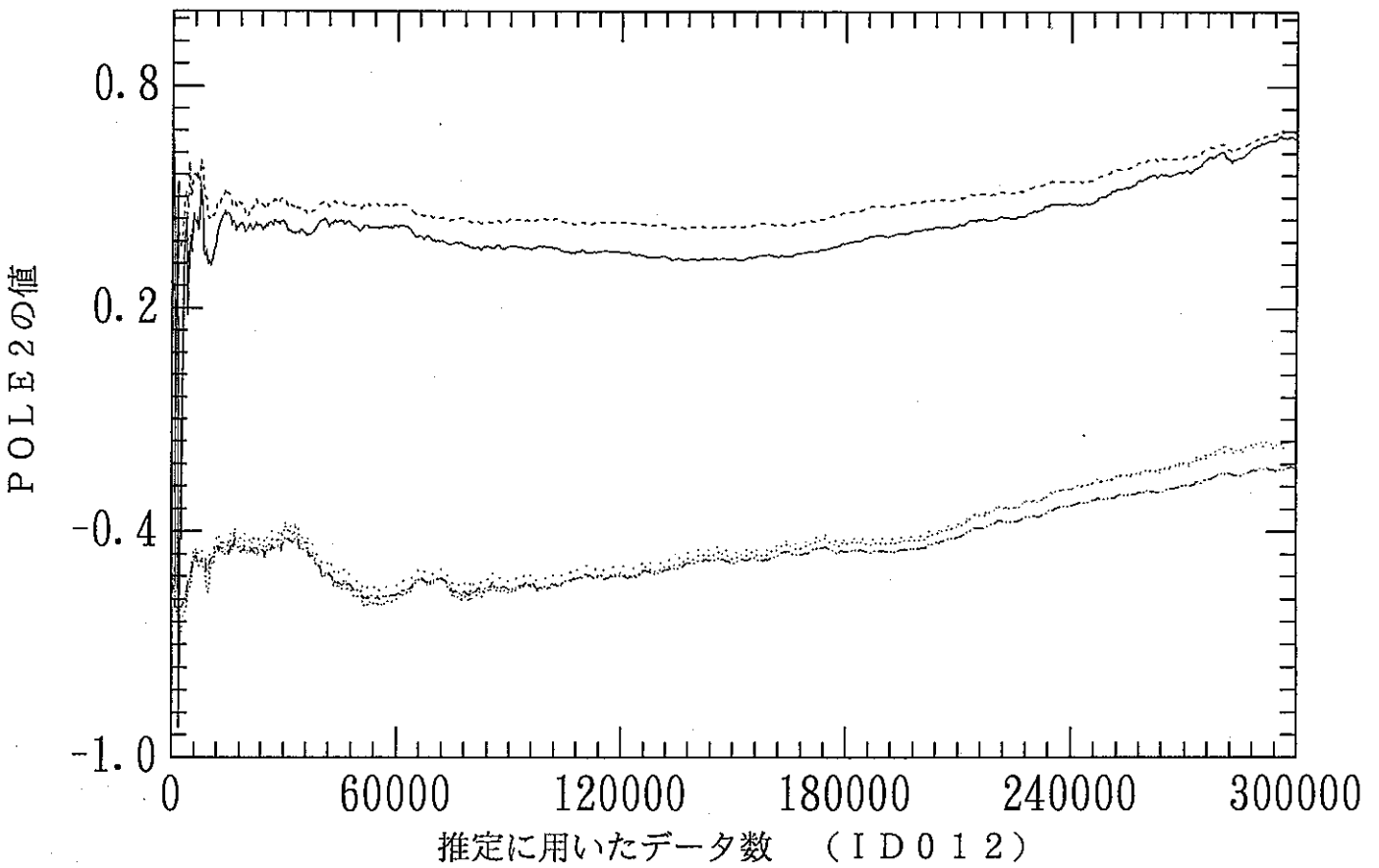


図 3.4.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(RPE with F factor Init:0.90)

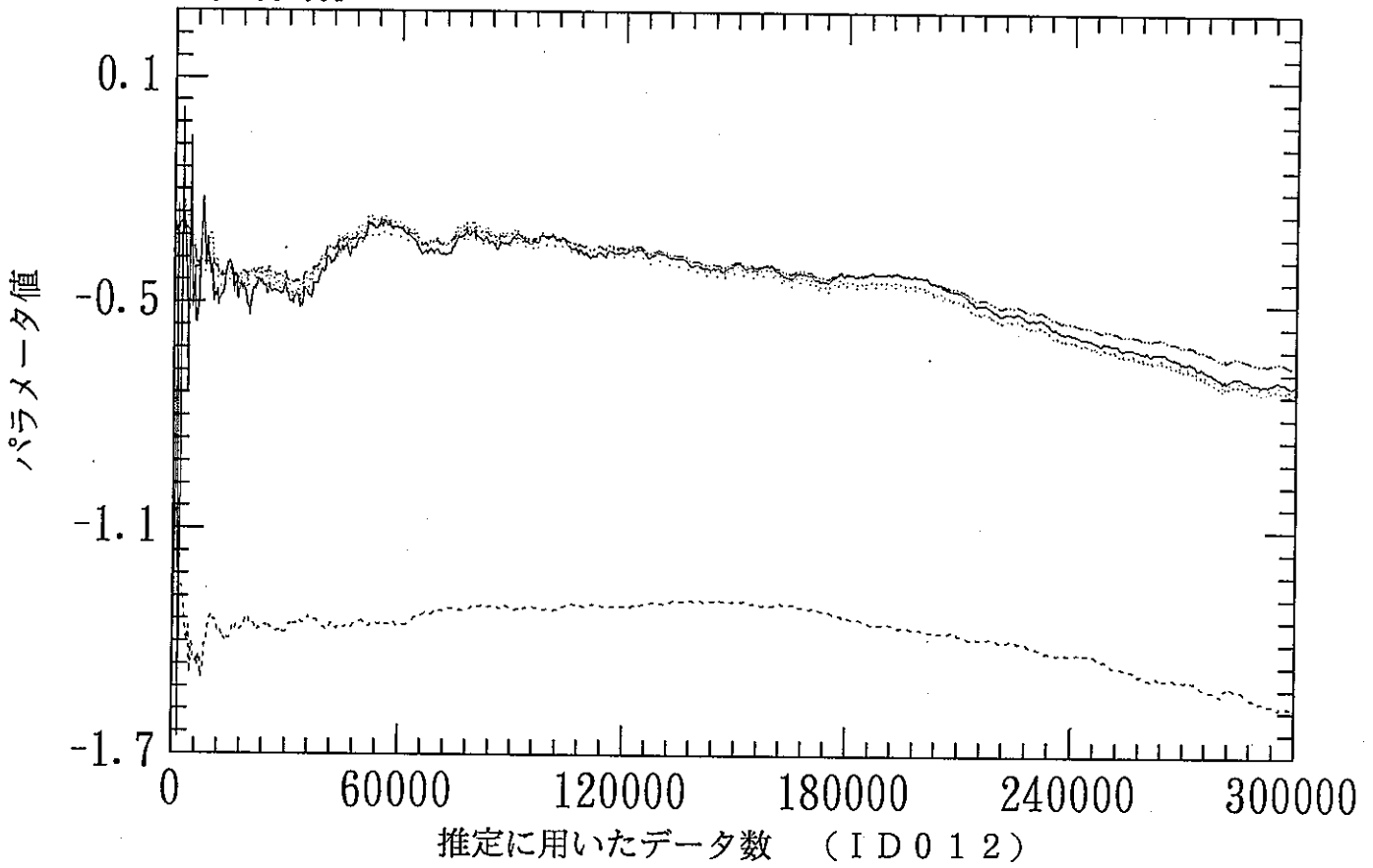


図 3.5.1 1st AR parameter
(RPE&PMA with F factor Init:0.90)

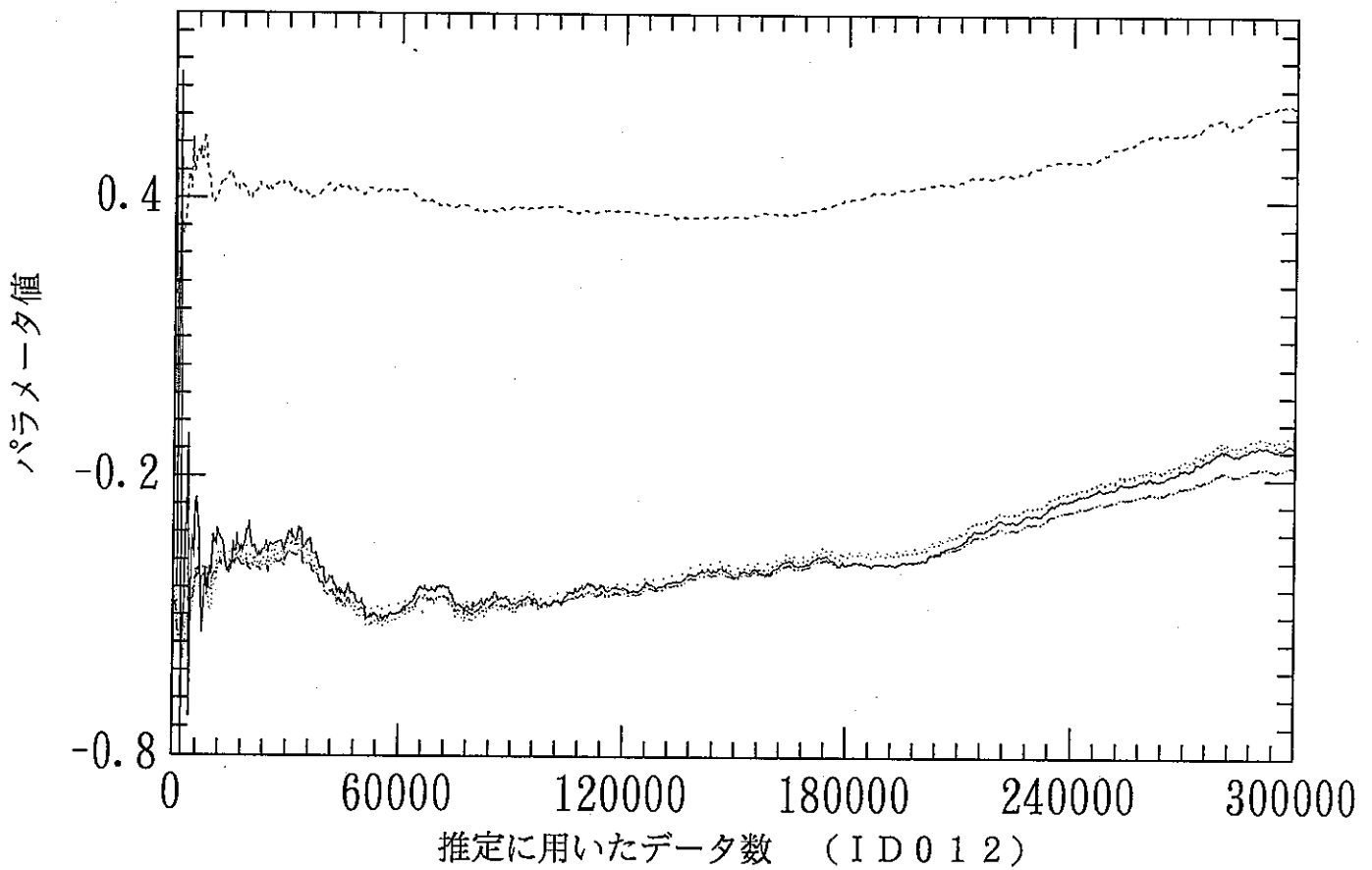


図 3.5.2 2nd AR parameter
(RPE&PMA with F factor Init 0.90)

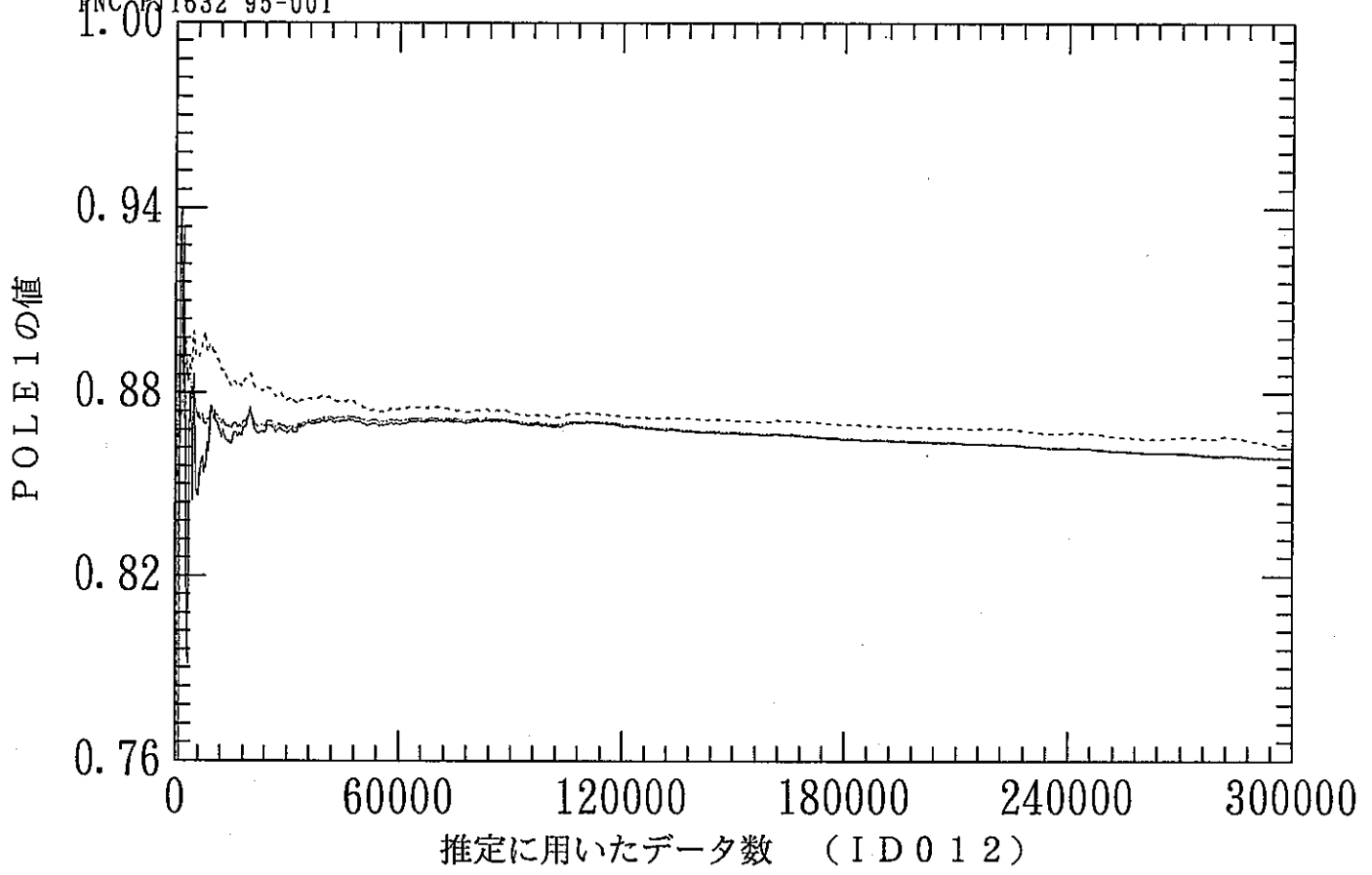


図 3.5.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMA with F factor Init:0.90)

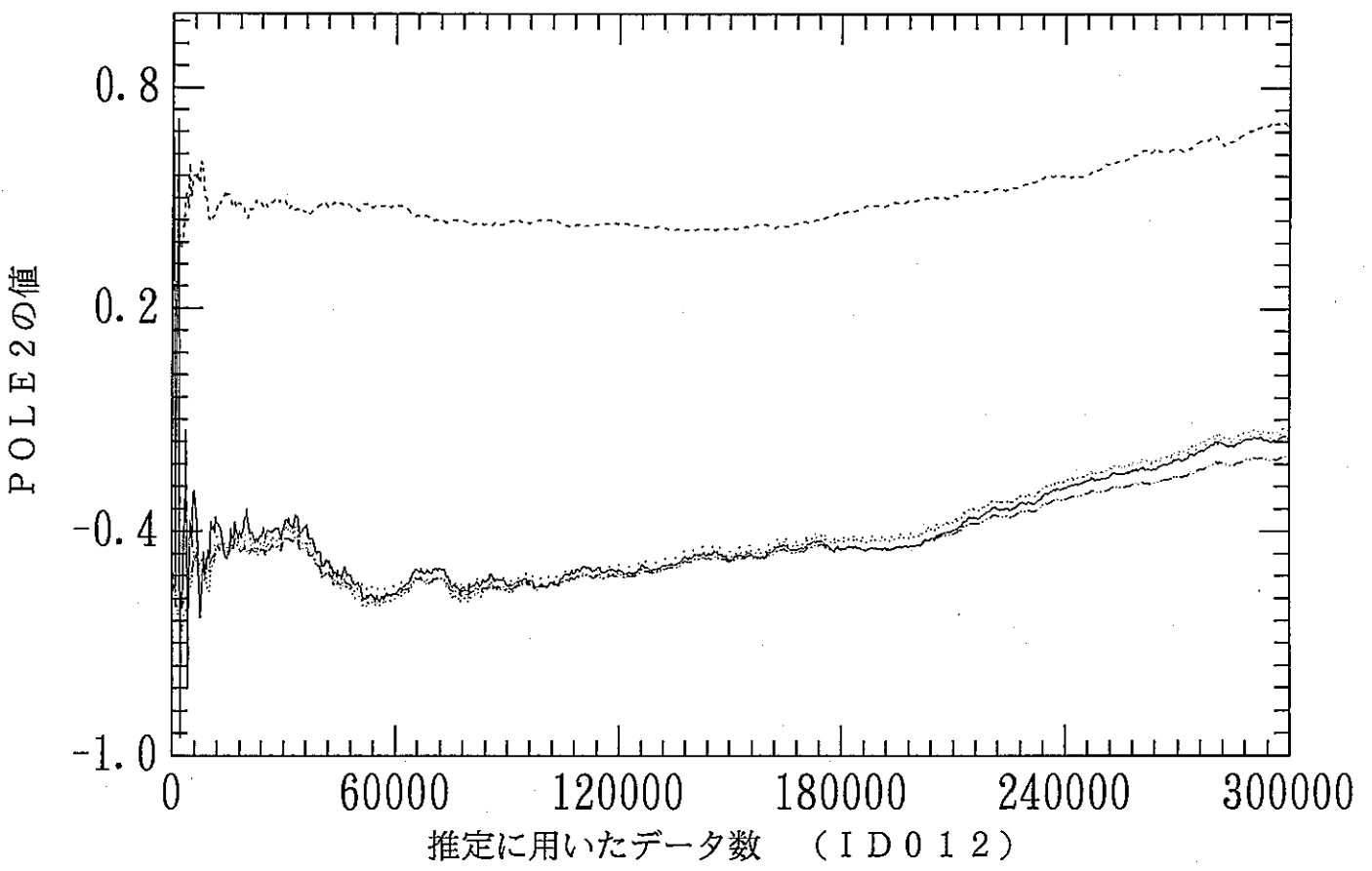


図 3.5.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMA with F factor Init:0.90)

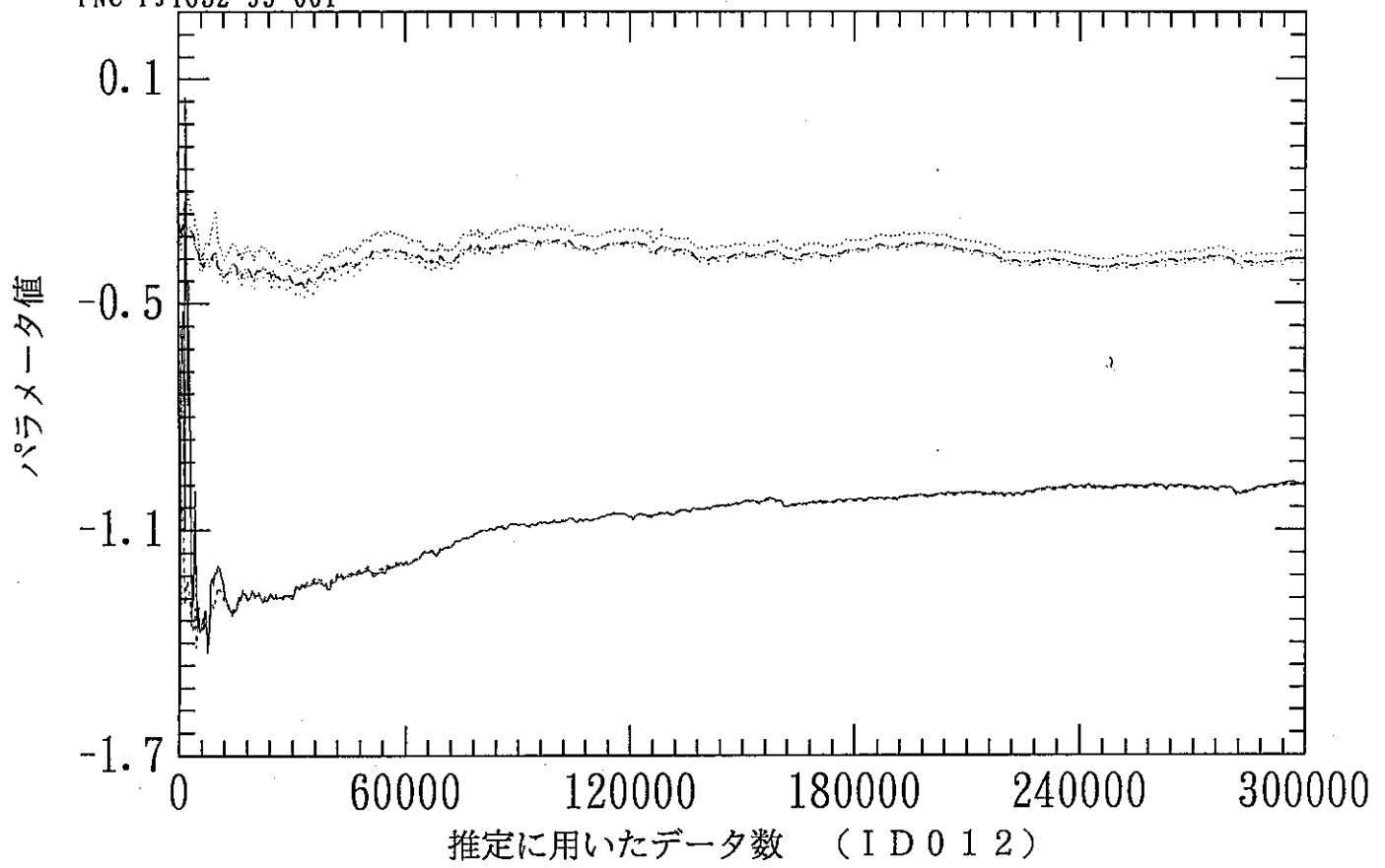


図 3.6.1 1st AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init:0.90)

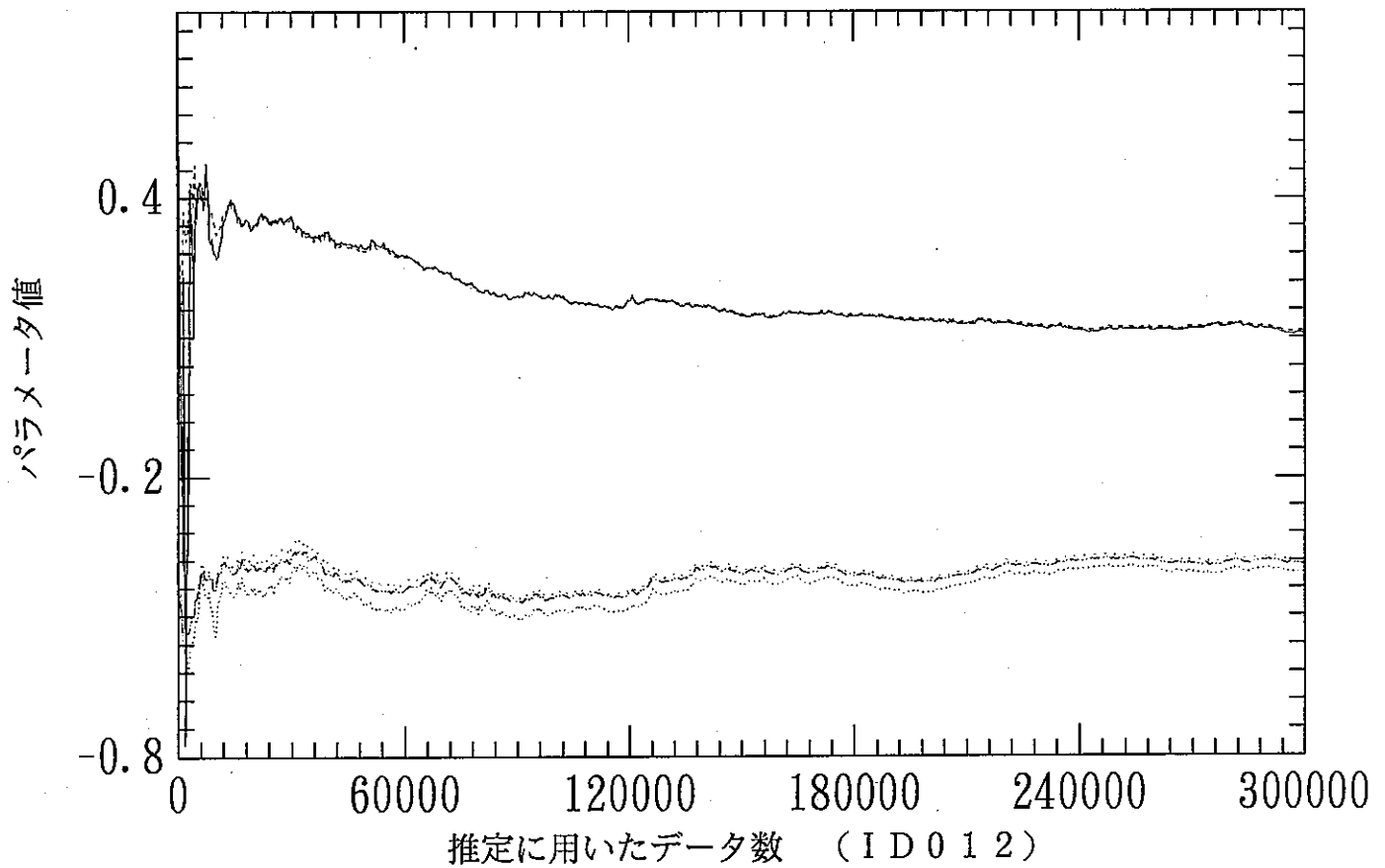


図 3.6.2 2nd AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init 0.90)

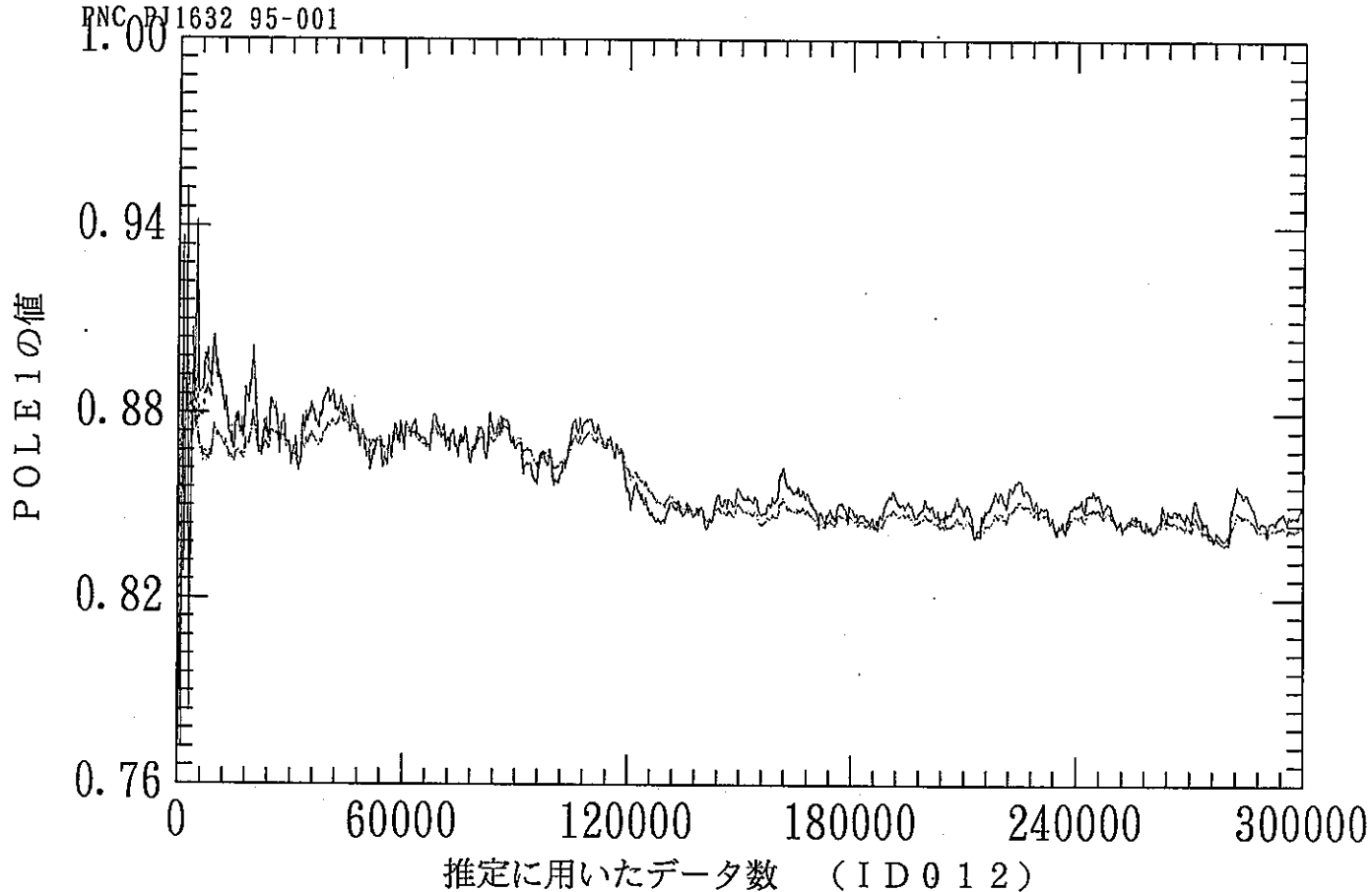


図 3.6.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.90)

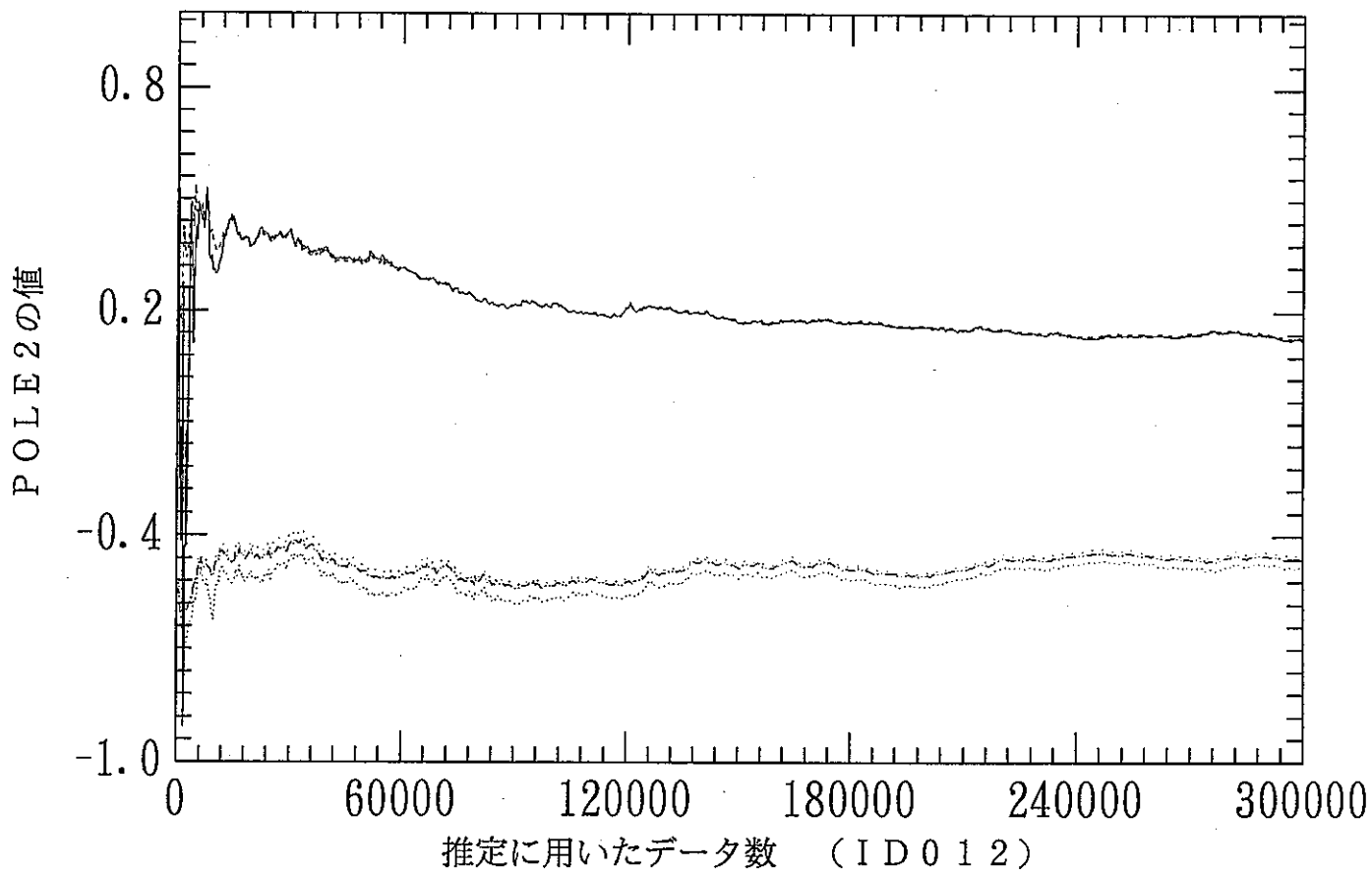


図 3.6.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.90)

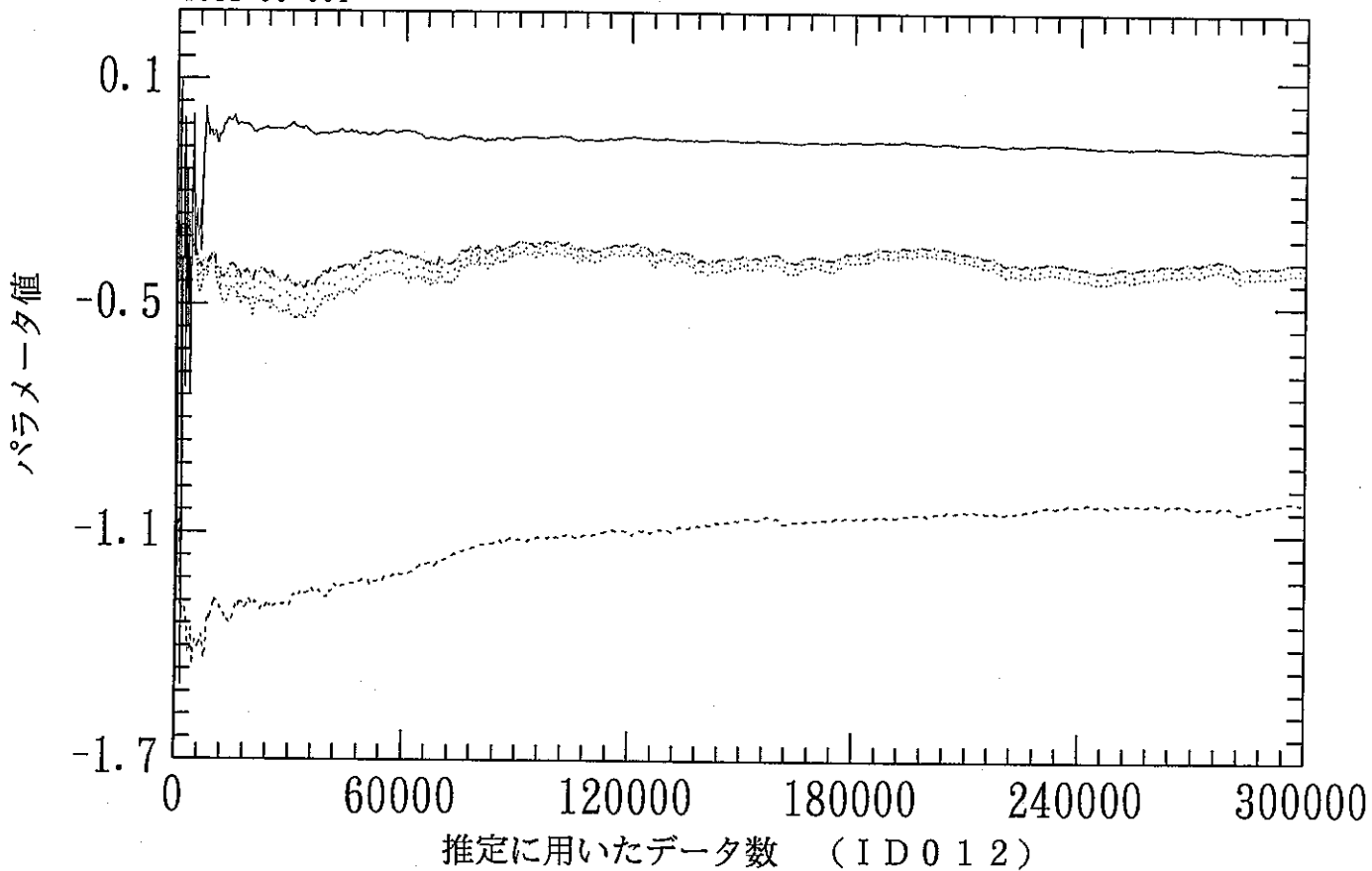


図 3.7.1 1st AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init:0.85)

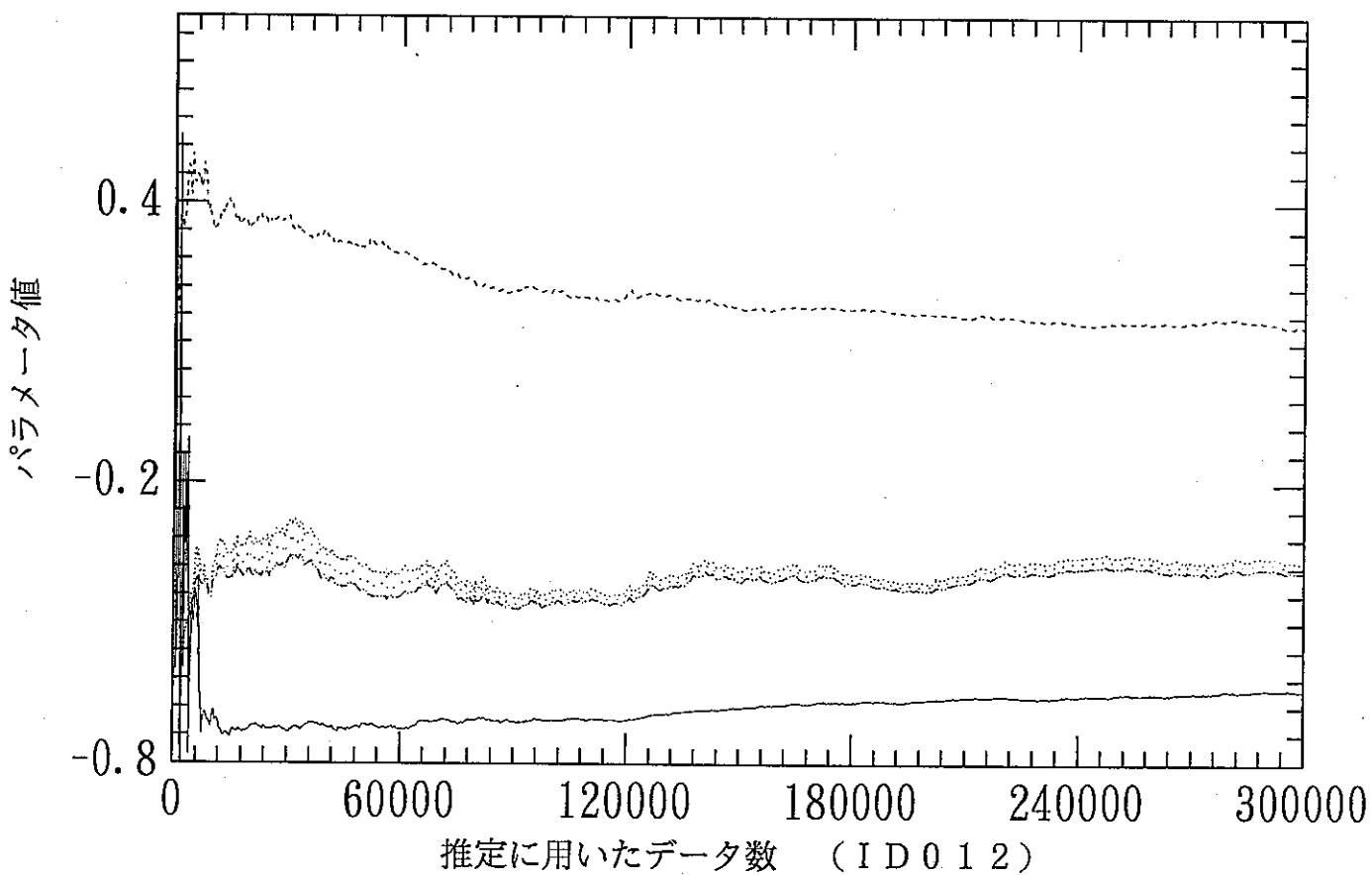


図 3.7.2 2nd AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init 0.85)

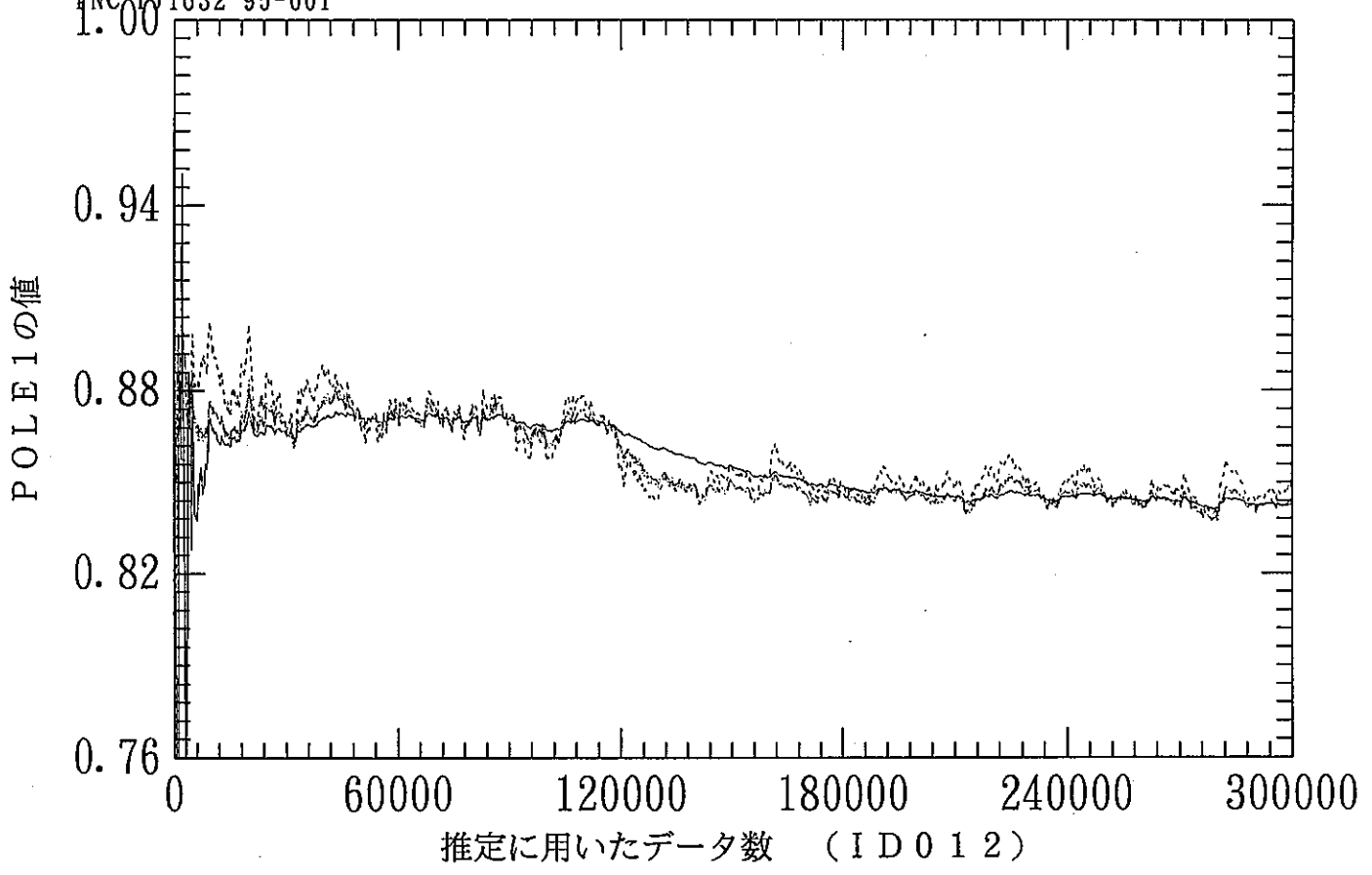


図 3.7.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.85)

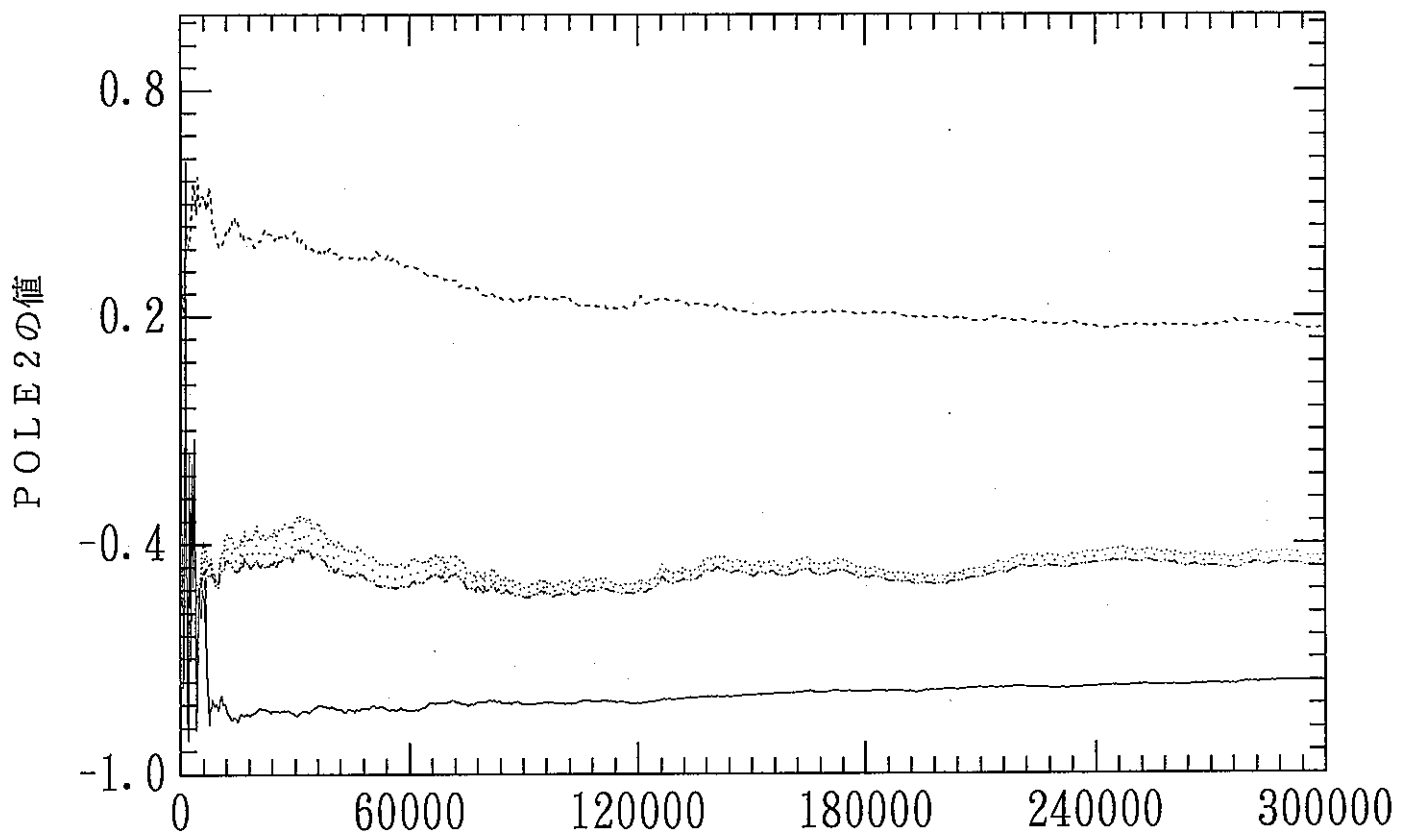


図 3.7.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.85)

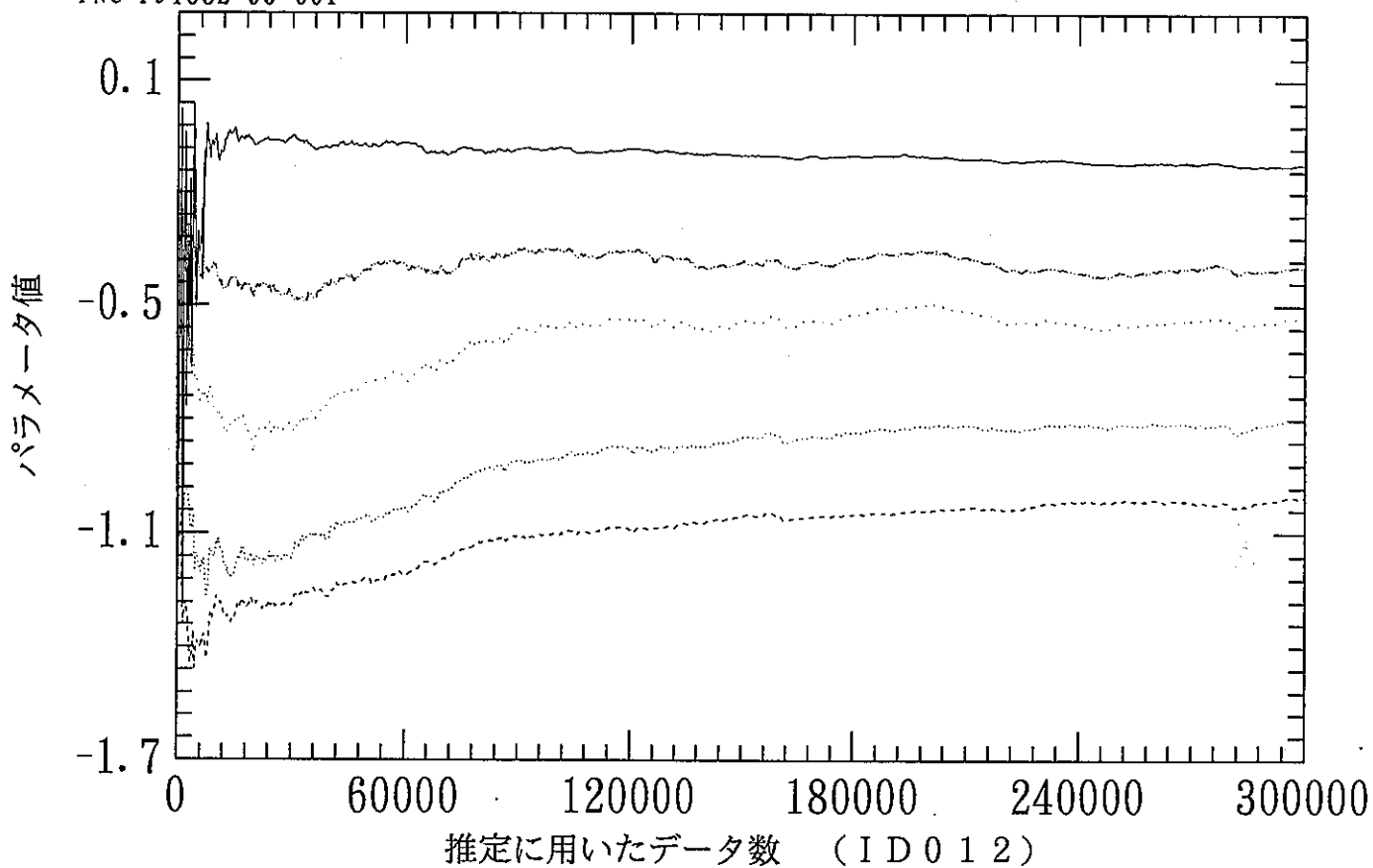


図 3.8.1 1st AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init:0.80)

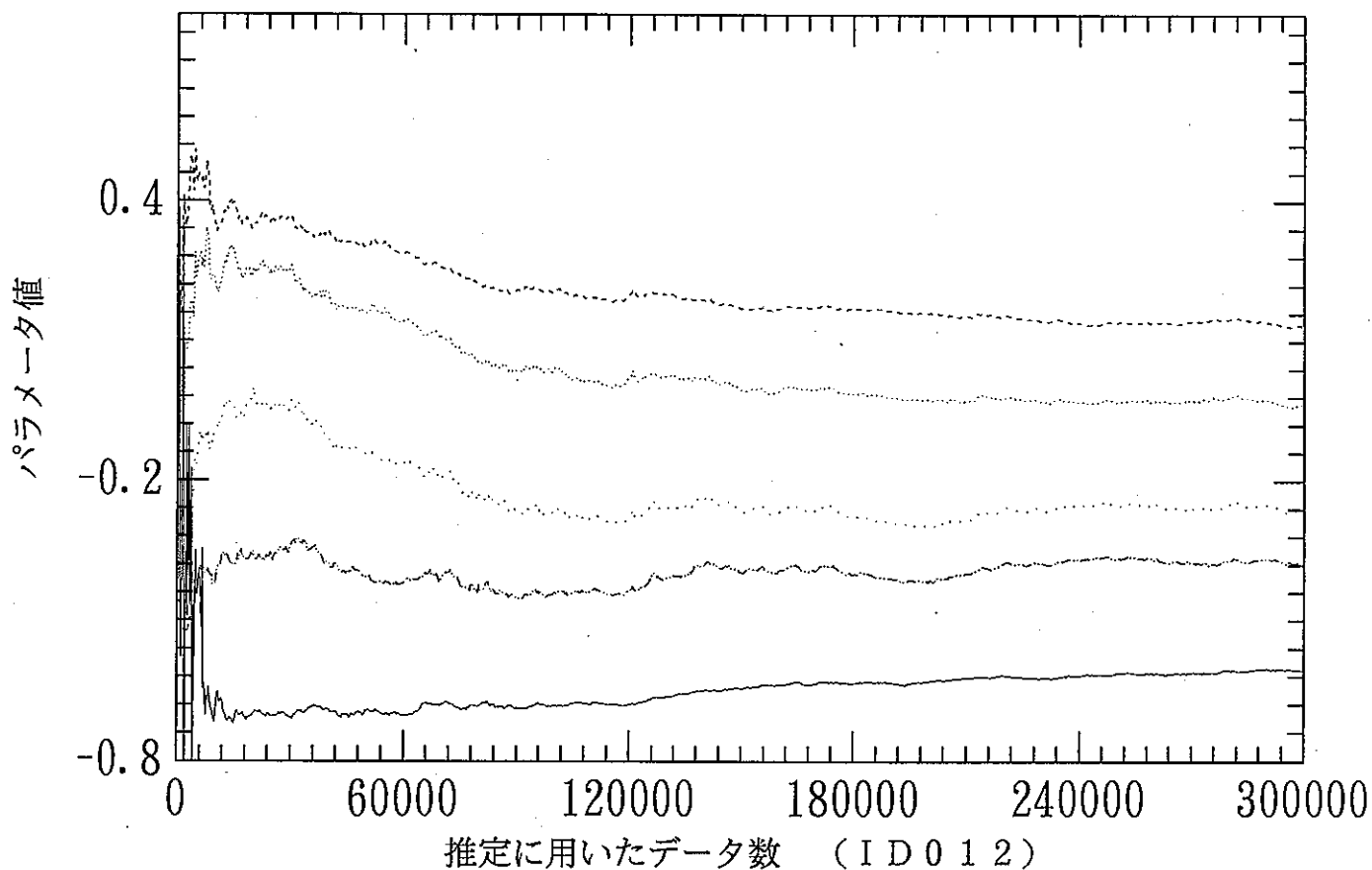


図 3.8.2 2nd AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init 0.80)

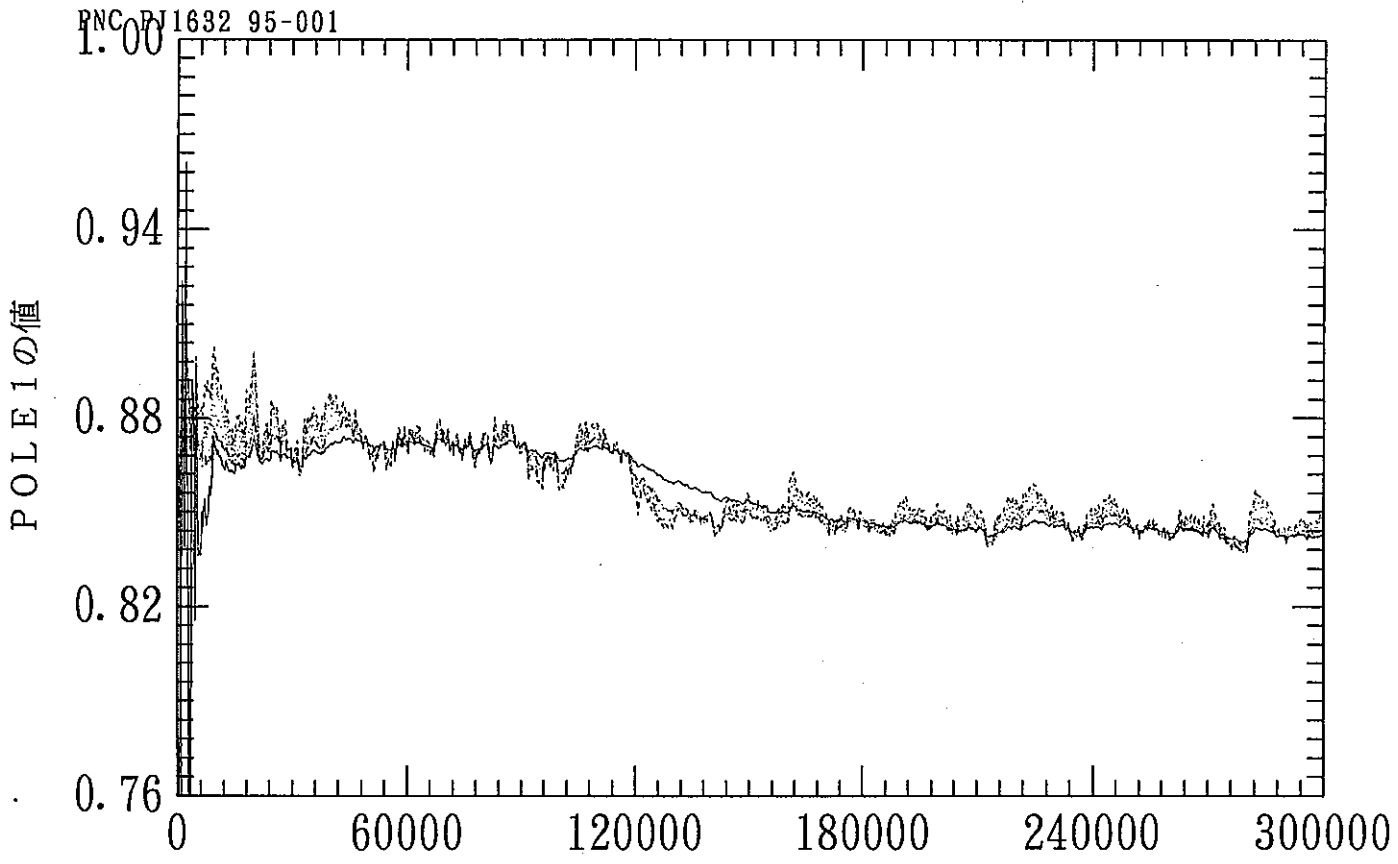


図 3.8.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.80)

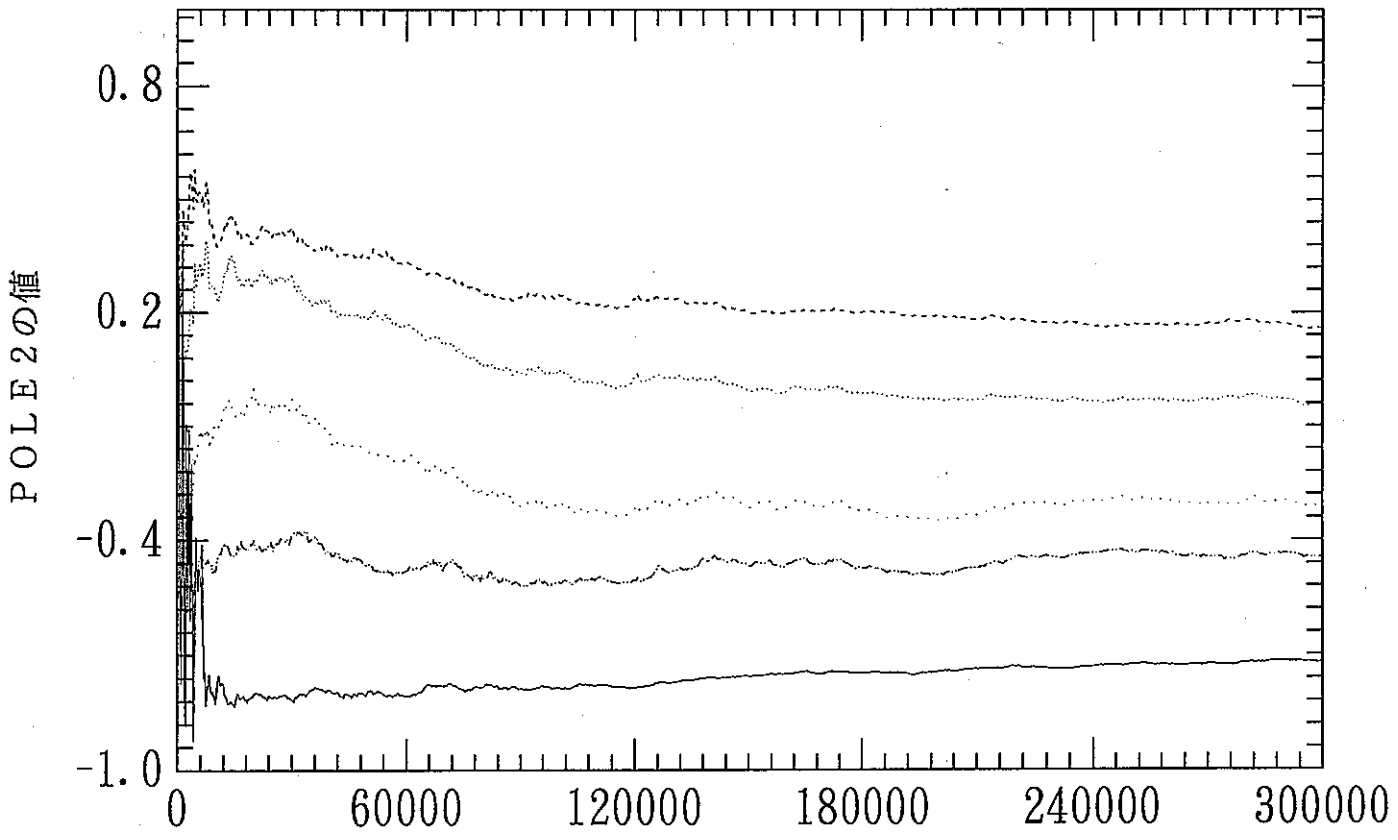


図 3.8.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.80)

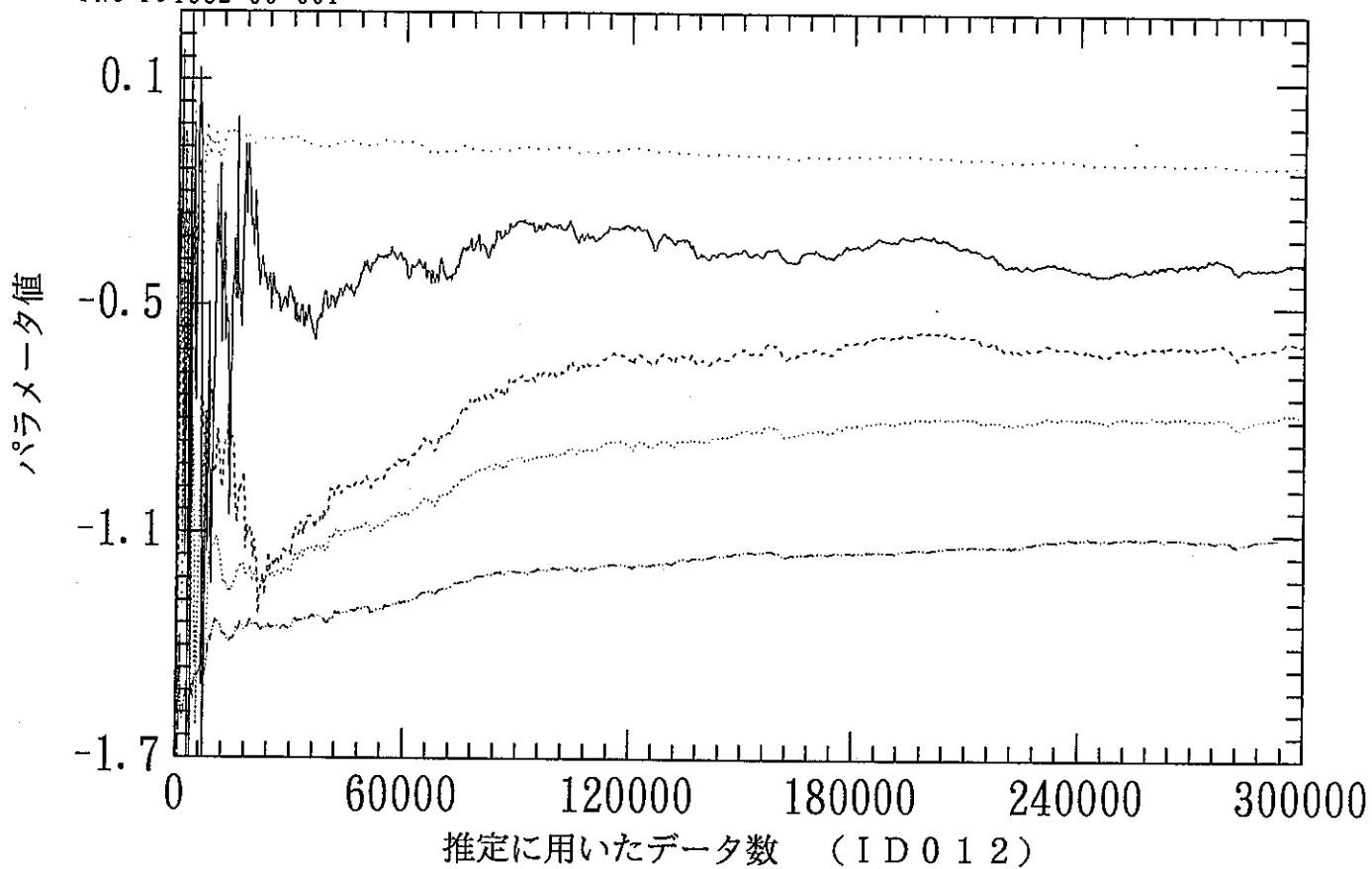


図 3.9.1 1st AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init:0.80)

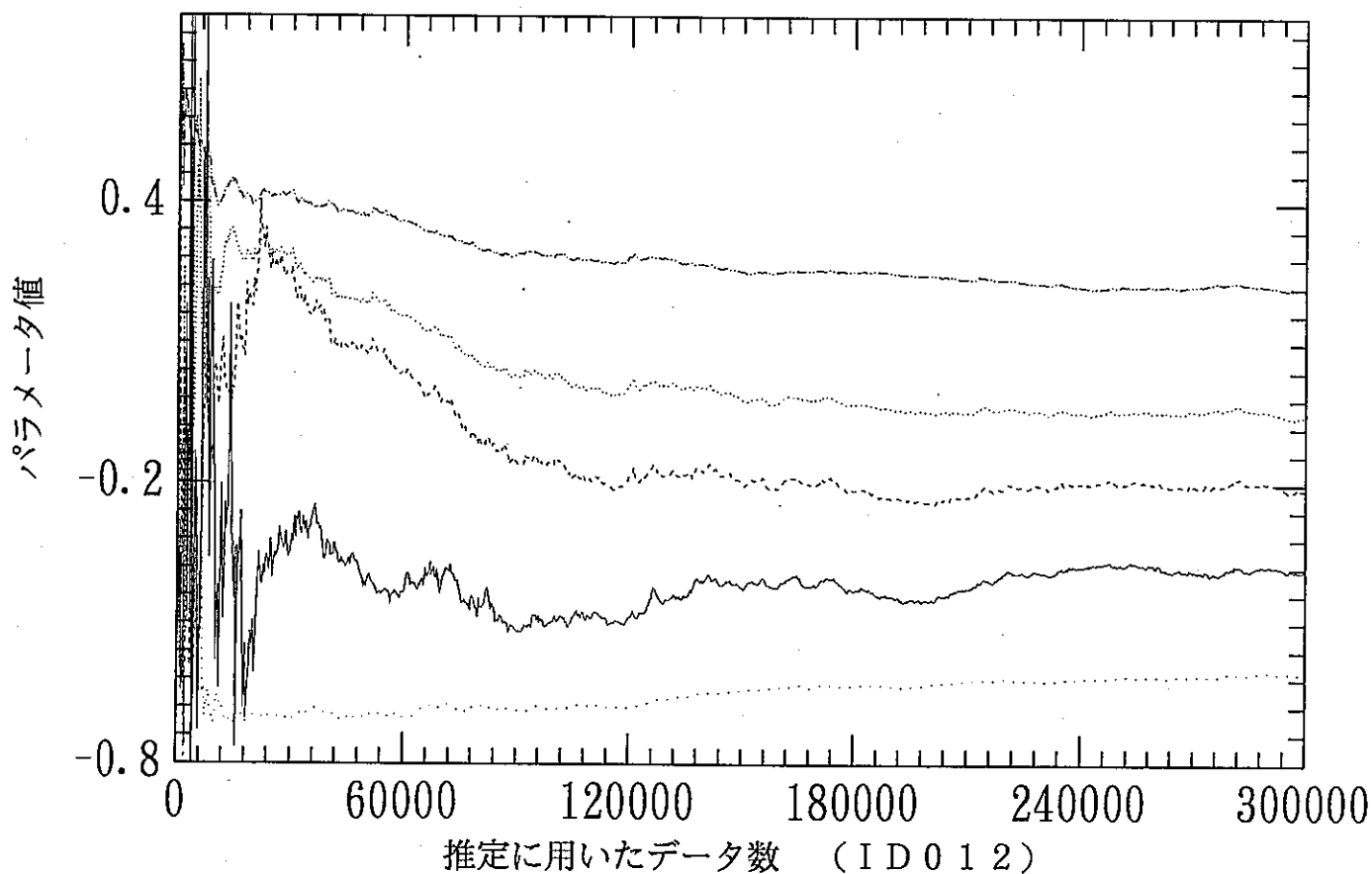


図 3.9.2 2nd AR parameter
(RPE&PMDA with F factor Init 0.80)

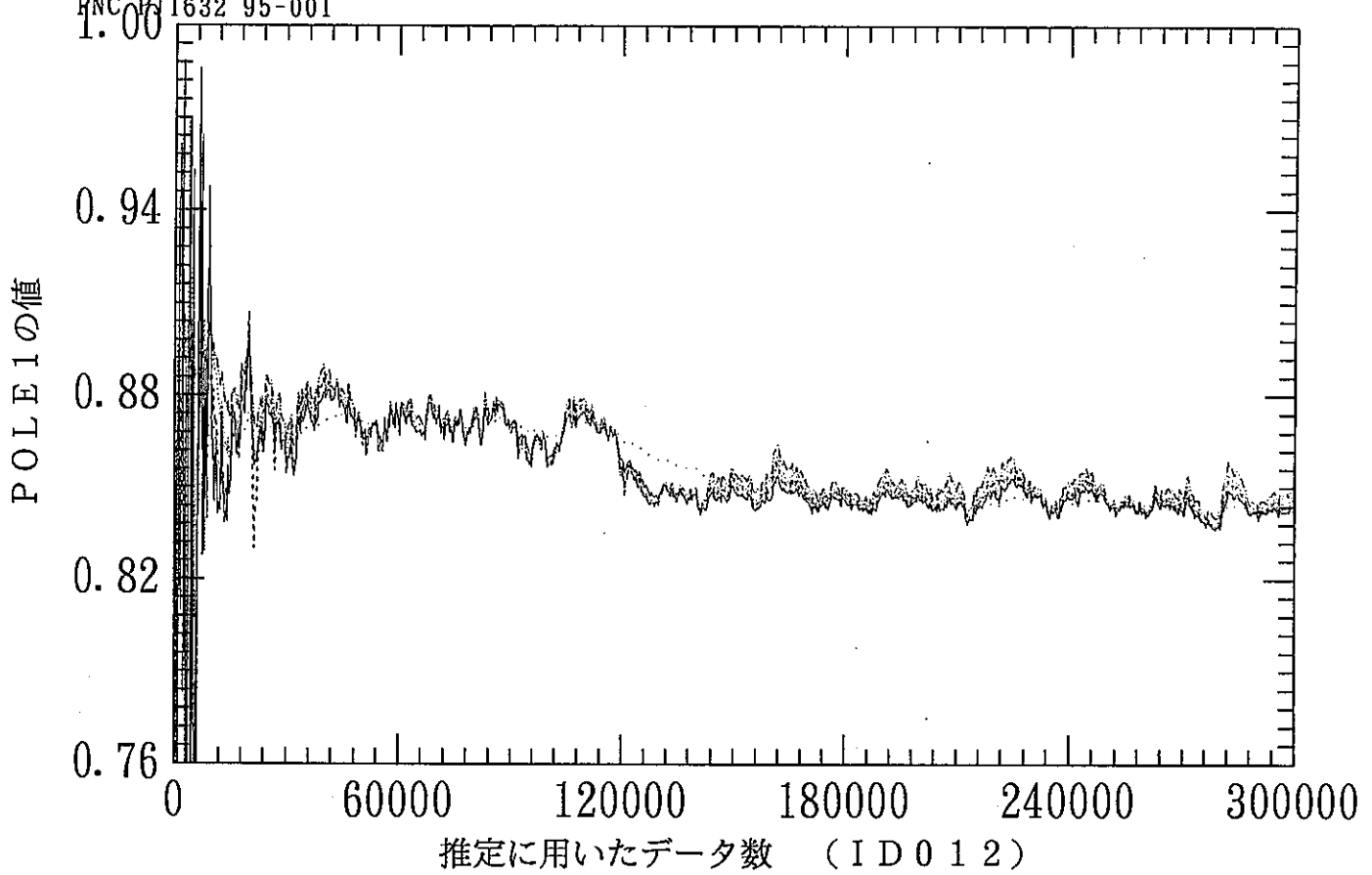


図 3.9.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.80)

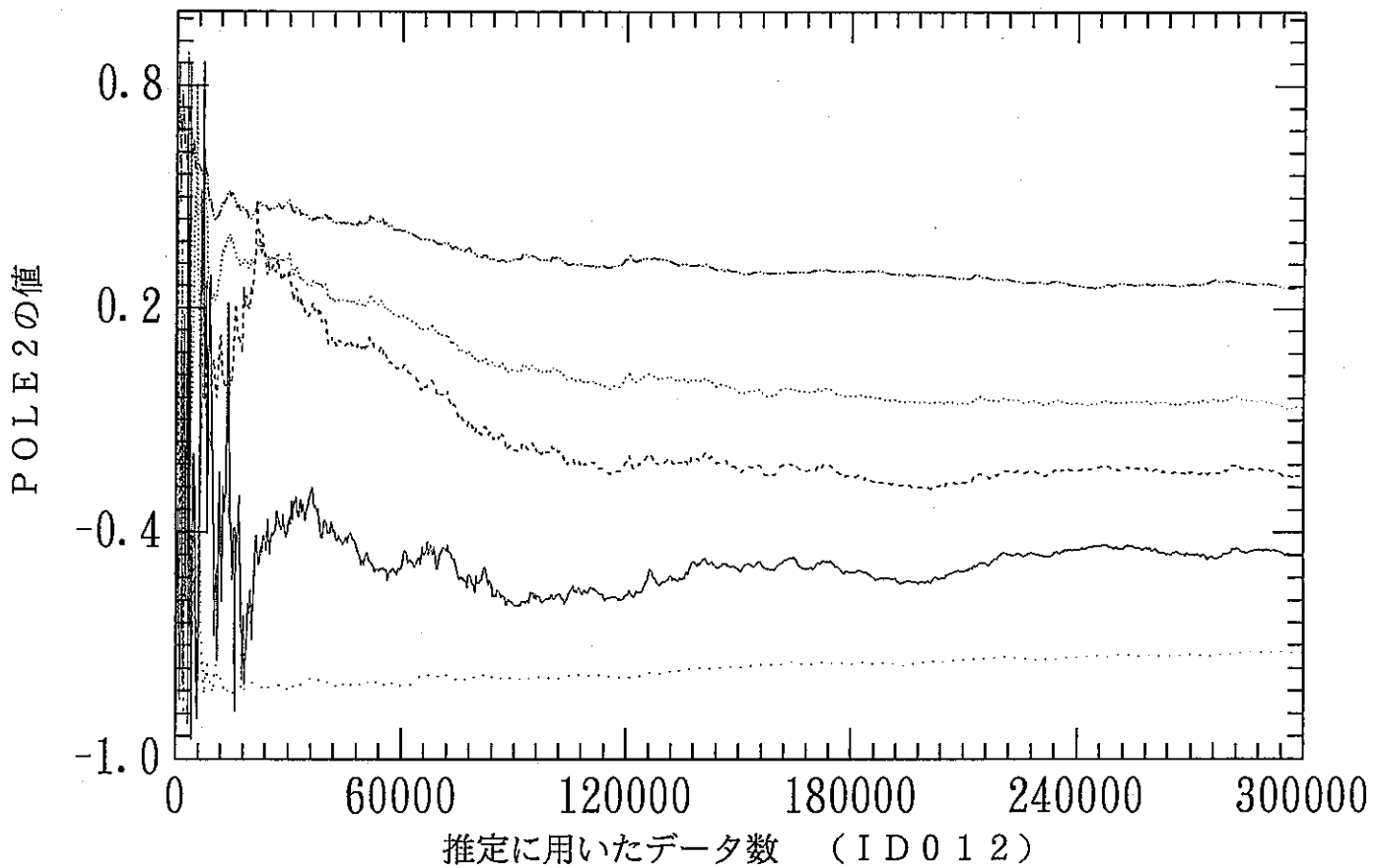


図 3.9.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(RPE&PMDA with F factor Init:0.80)

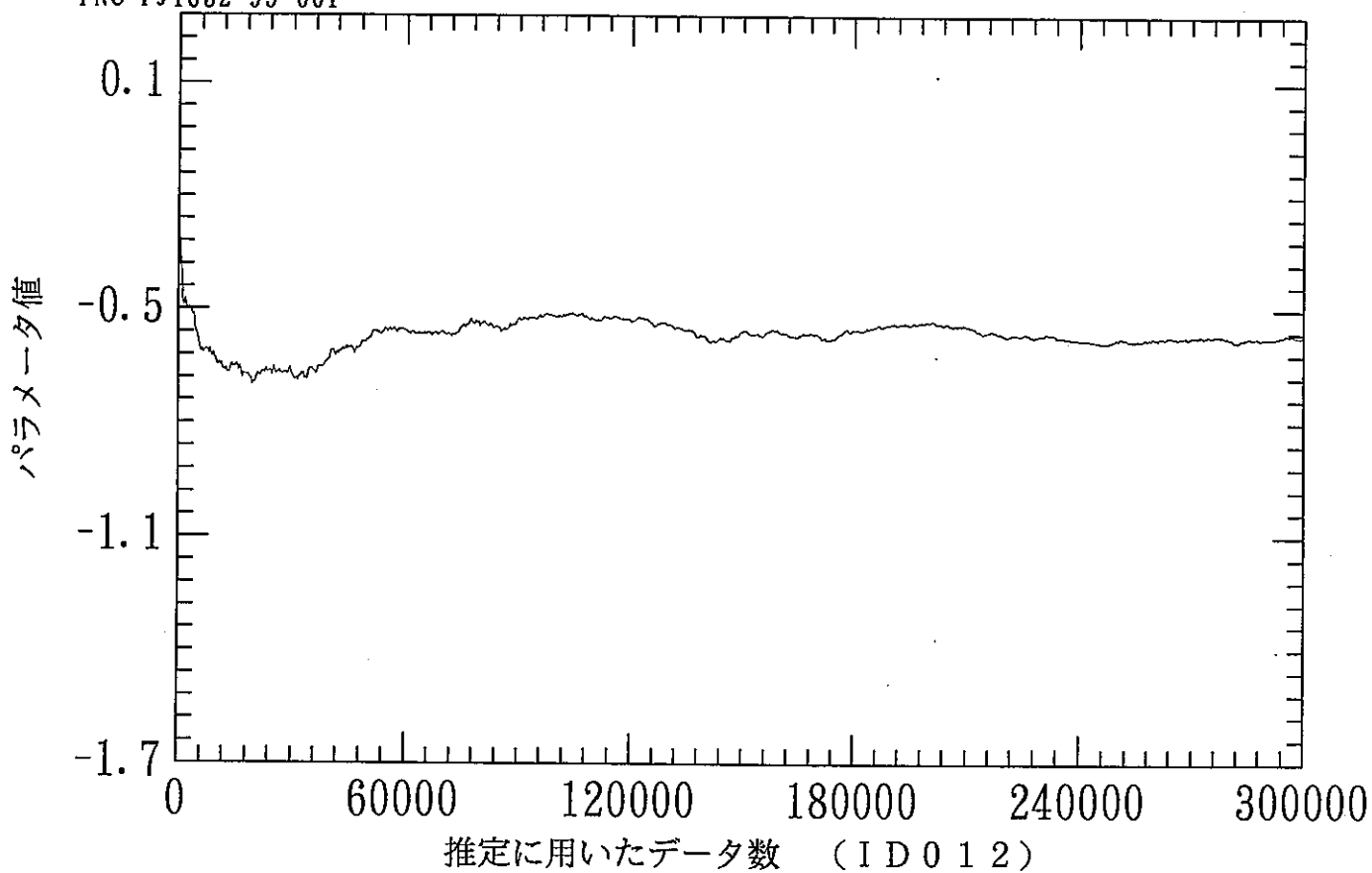


図 3.10.1 1st AR parameter
(ELS&PMDA with F factor :1)

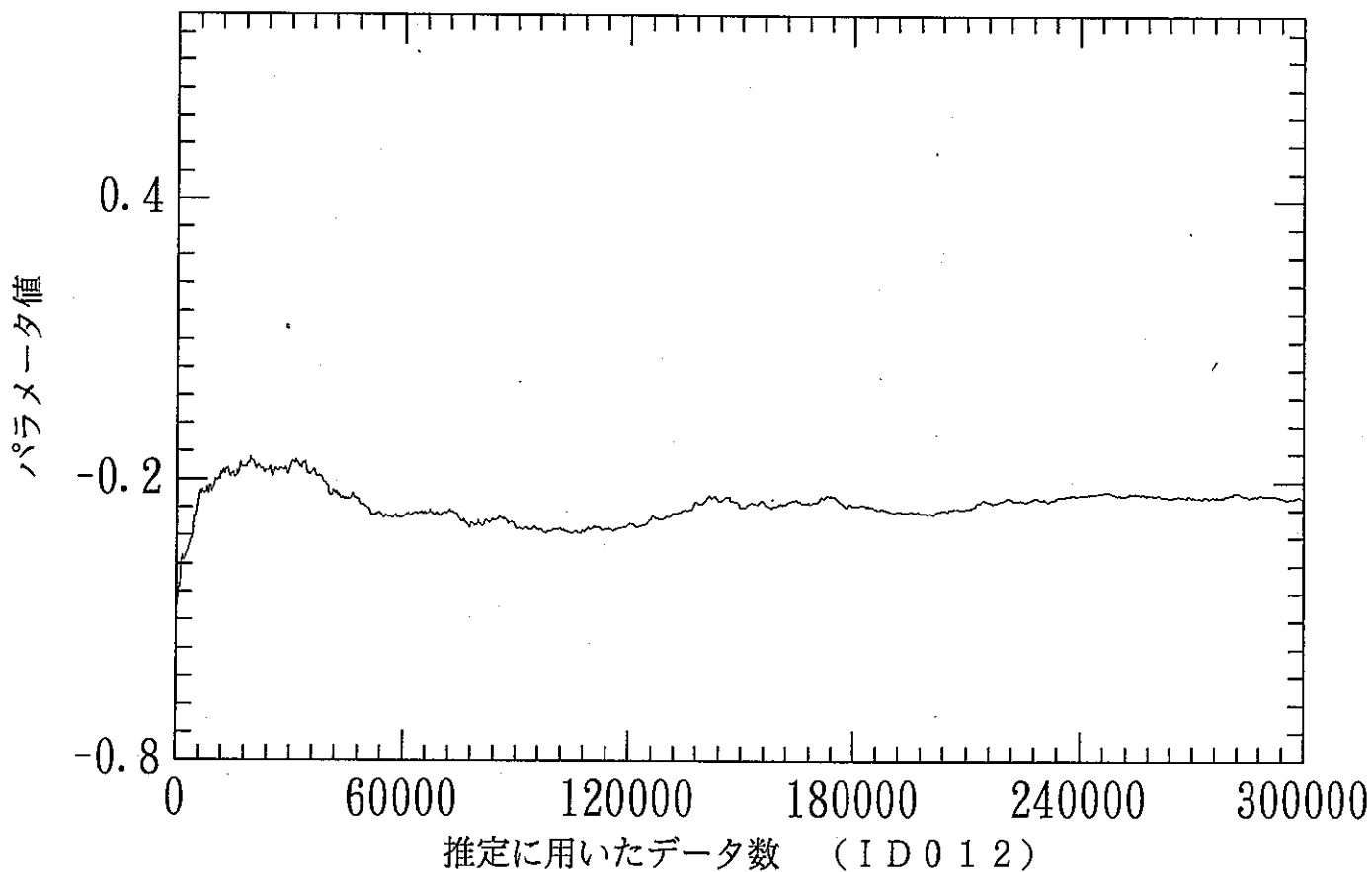


図 3.10.2 2nd AR parameter
(ELS&PMDA with F factor :1)

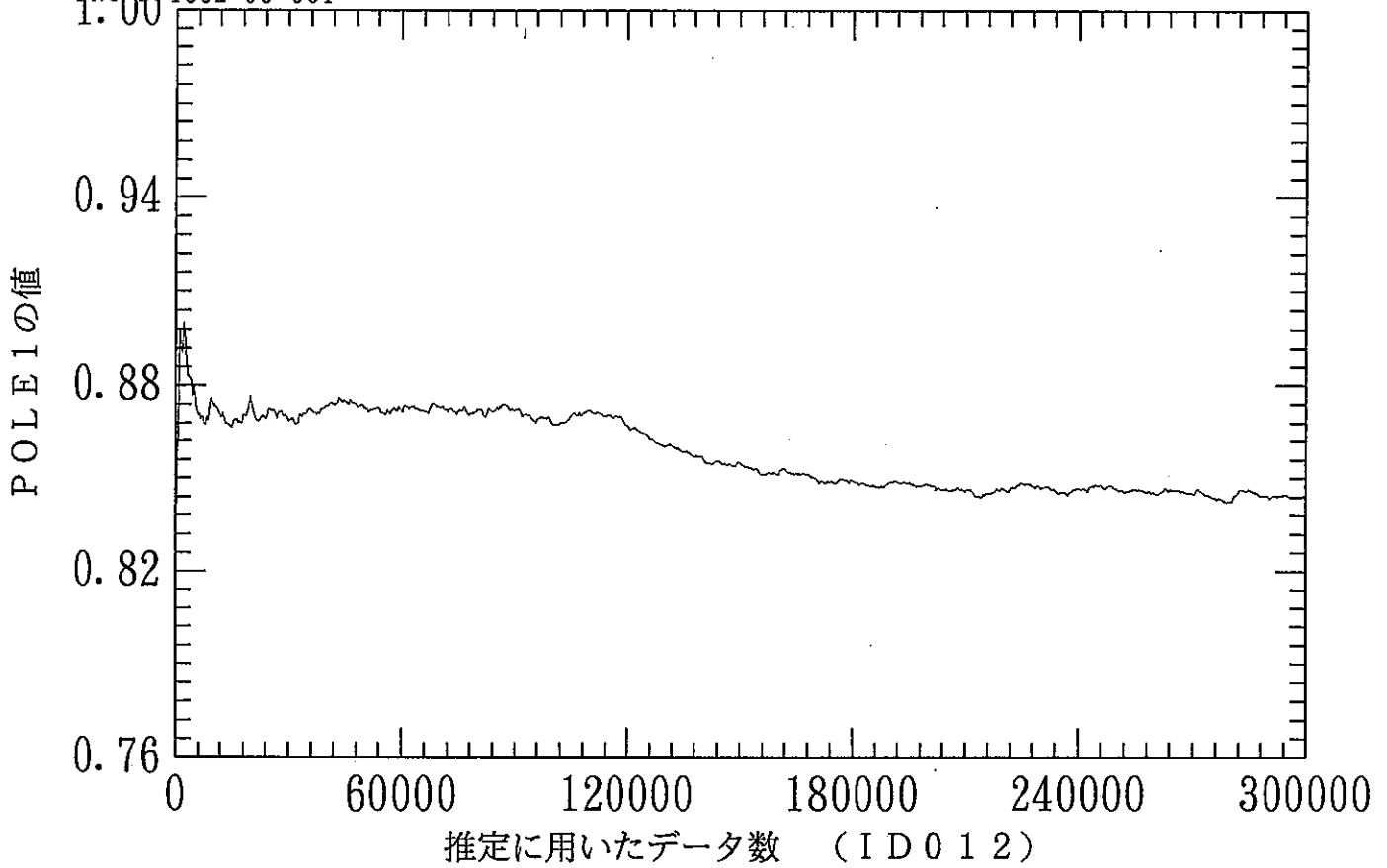


図 3.10.3 POLE 1 of ARMA(2,2)model
(ELS&PMDA with F factor :1)

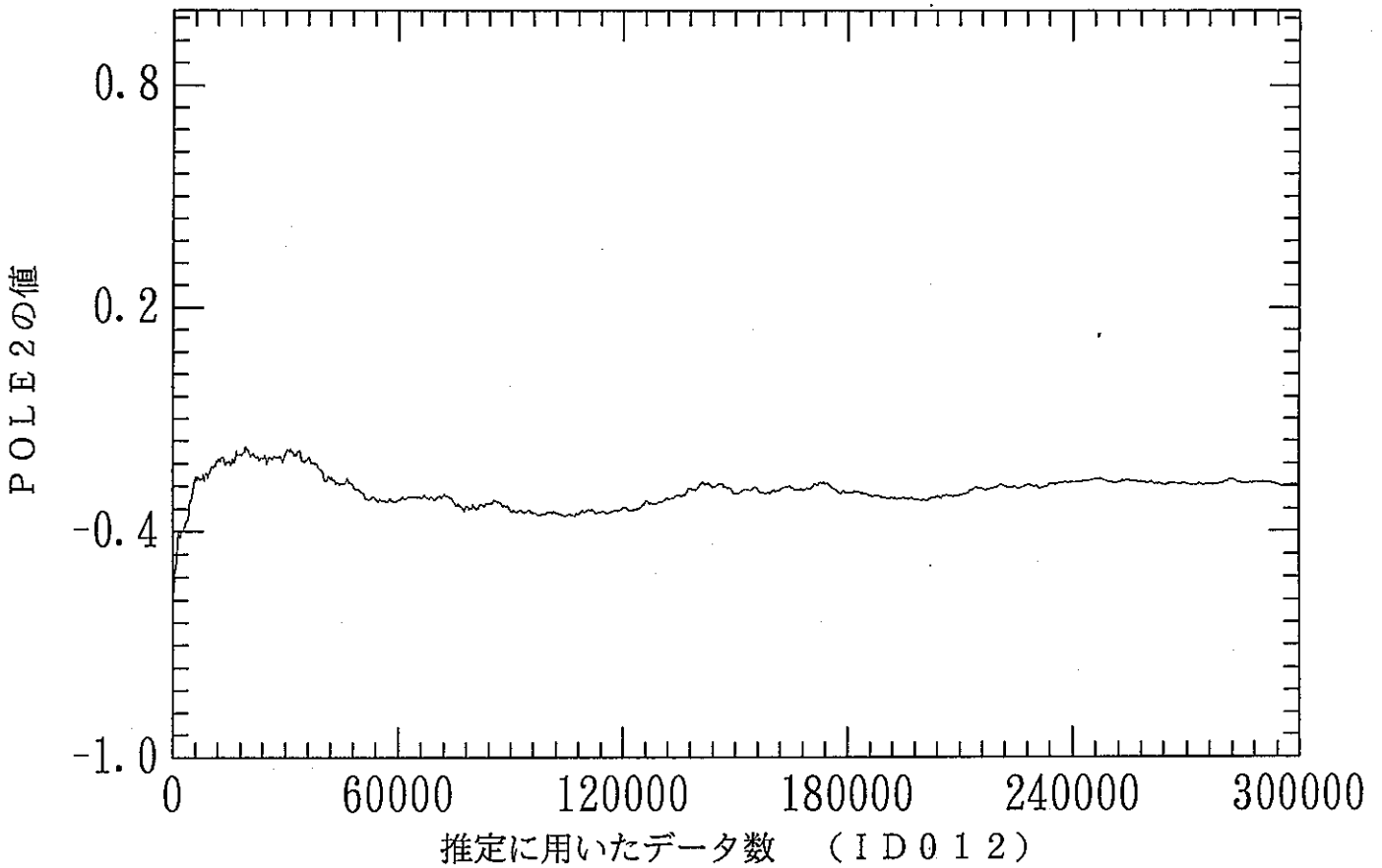


図 3.10.4 POLE 2 of ARMA(2,2)model
(ELS&PMDA with F factor :1)

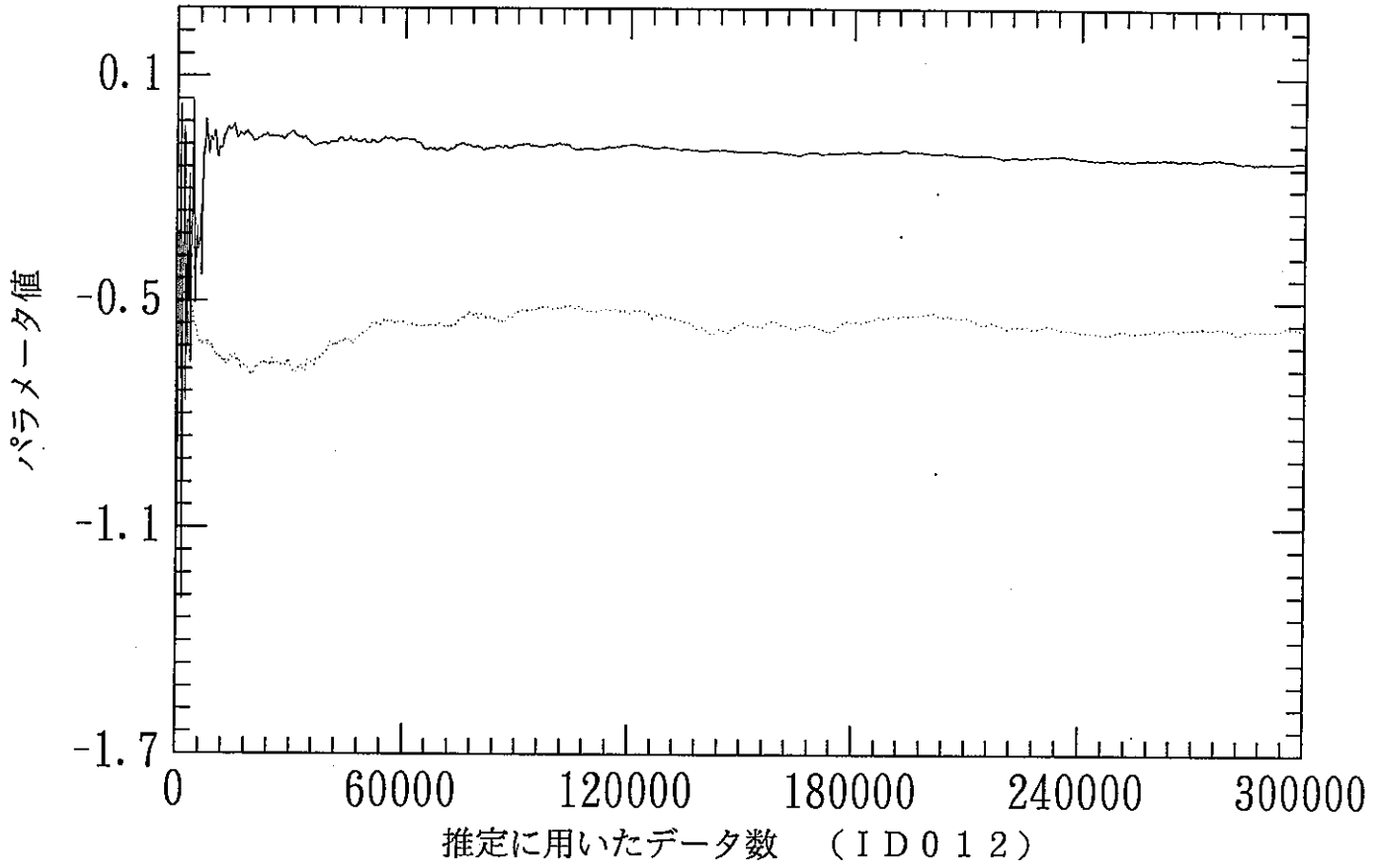


図3.11.1 ELS&PMDA(400*1.00002)とRPE(F factor Init:0.80
F factor Mu:0.999)&PMDAによる1st AR parameterの比較

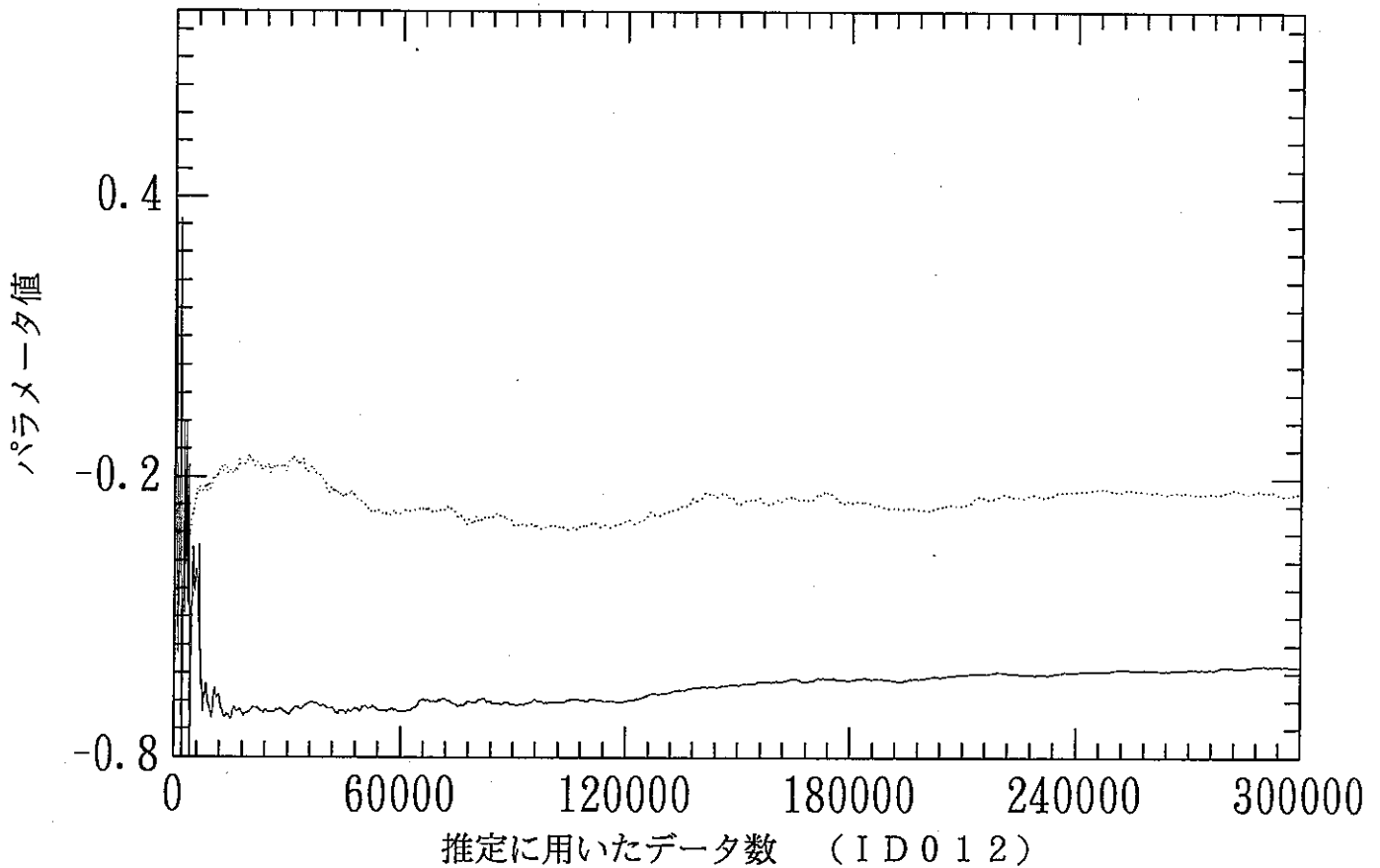


図3.11.2 ELS&PMDA(400*1.00002)とRPE(F factor Init:0.80
F factor Mu:0.999)&PMDAによる2nd AR parameterの比較

POLE1の値

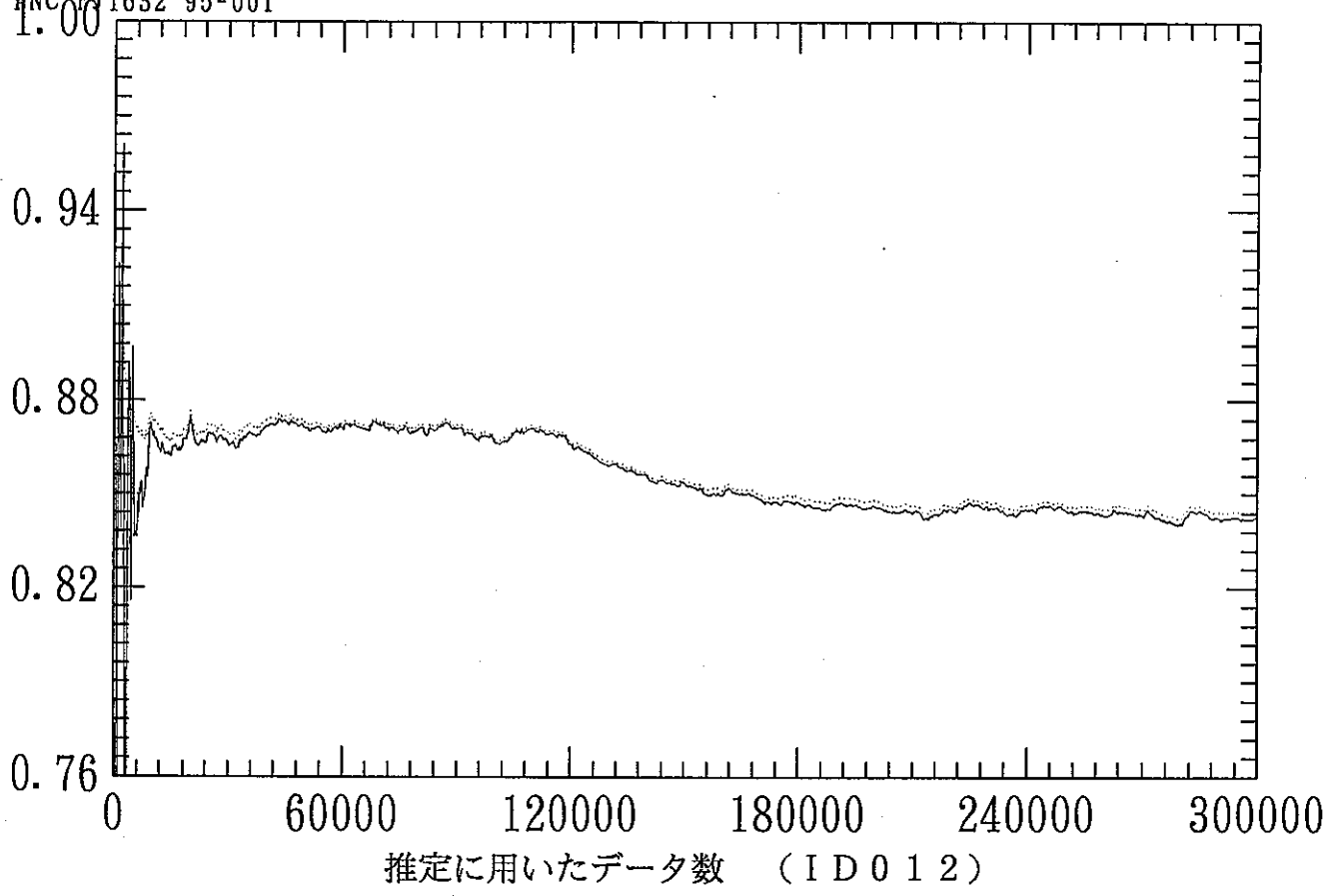


図3.11.3 ELS&PMDA(400*1.00002)とRPE(F factor Init:0.80
F factor Mu:0.999)&PMDAによるPOLE 1 of ARMA(2,2)modelの比較

POLE2の値

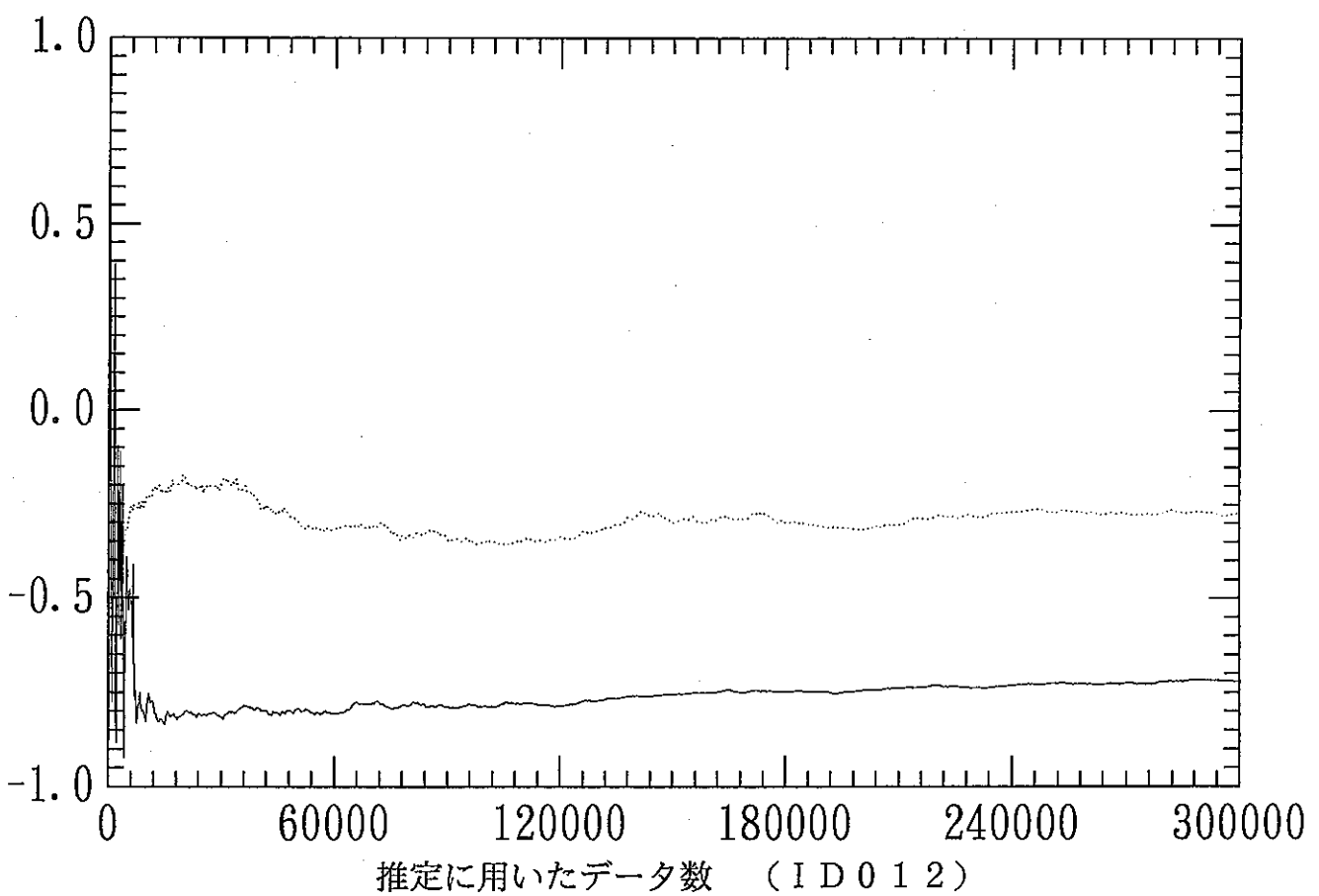


図3.11.4 ELS&PMDA(400*1.00002)とRPE(F factor Init:0.80
F factor Mu:0.999)&PMDAによるPOLE 2 of ARMA(2,2)modelの比較

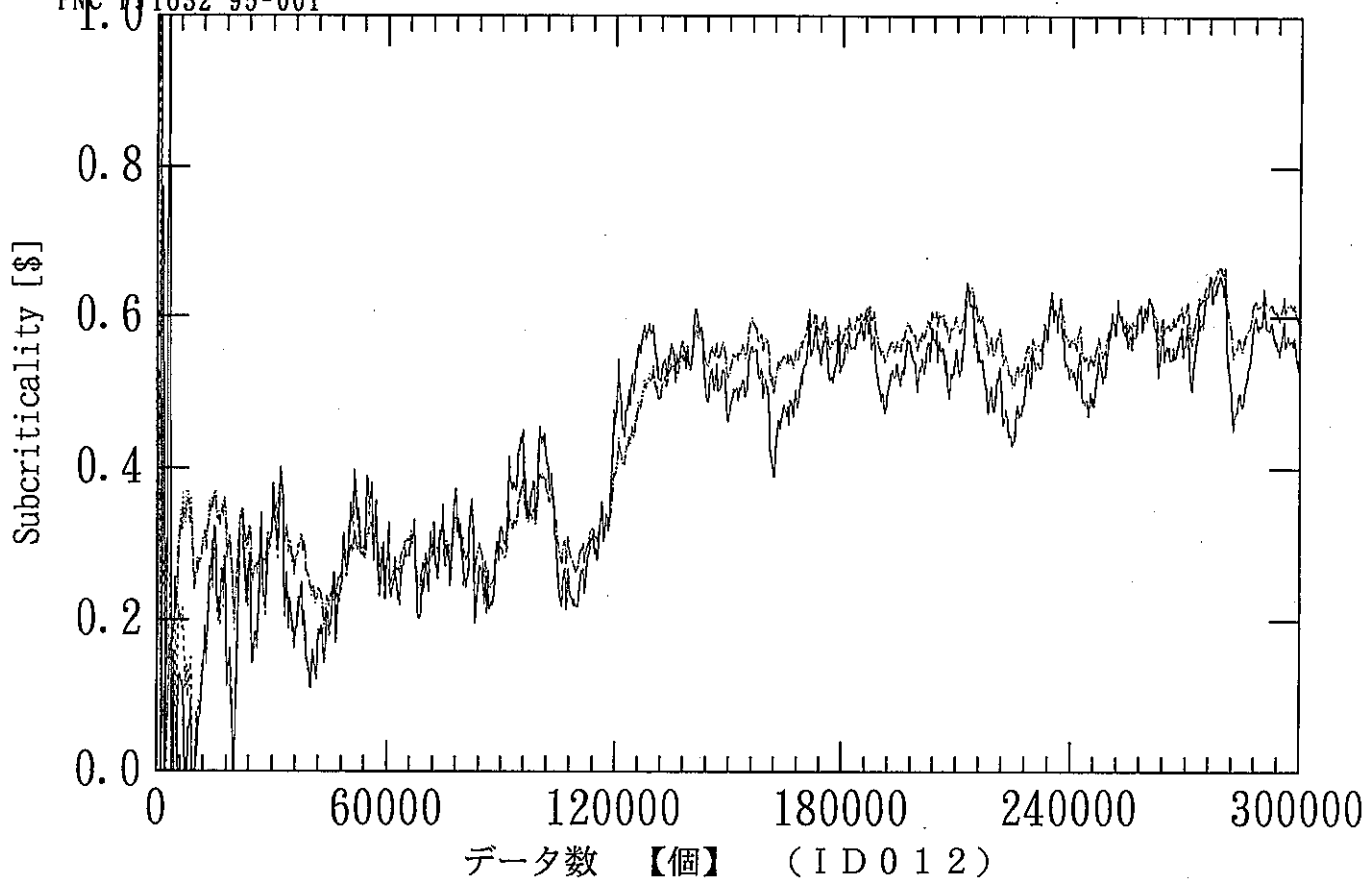


図3.12.1 Subcriticality estimated by RPE(F factor Init:0.90)&PMDA method

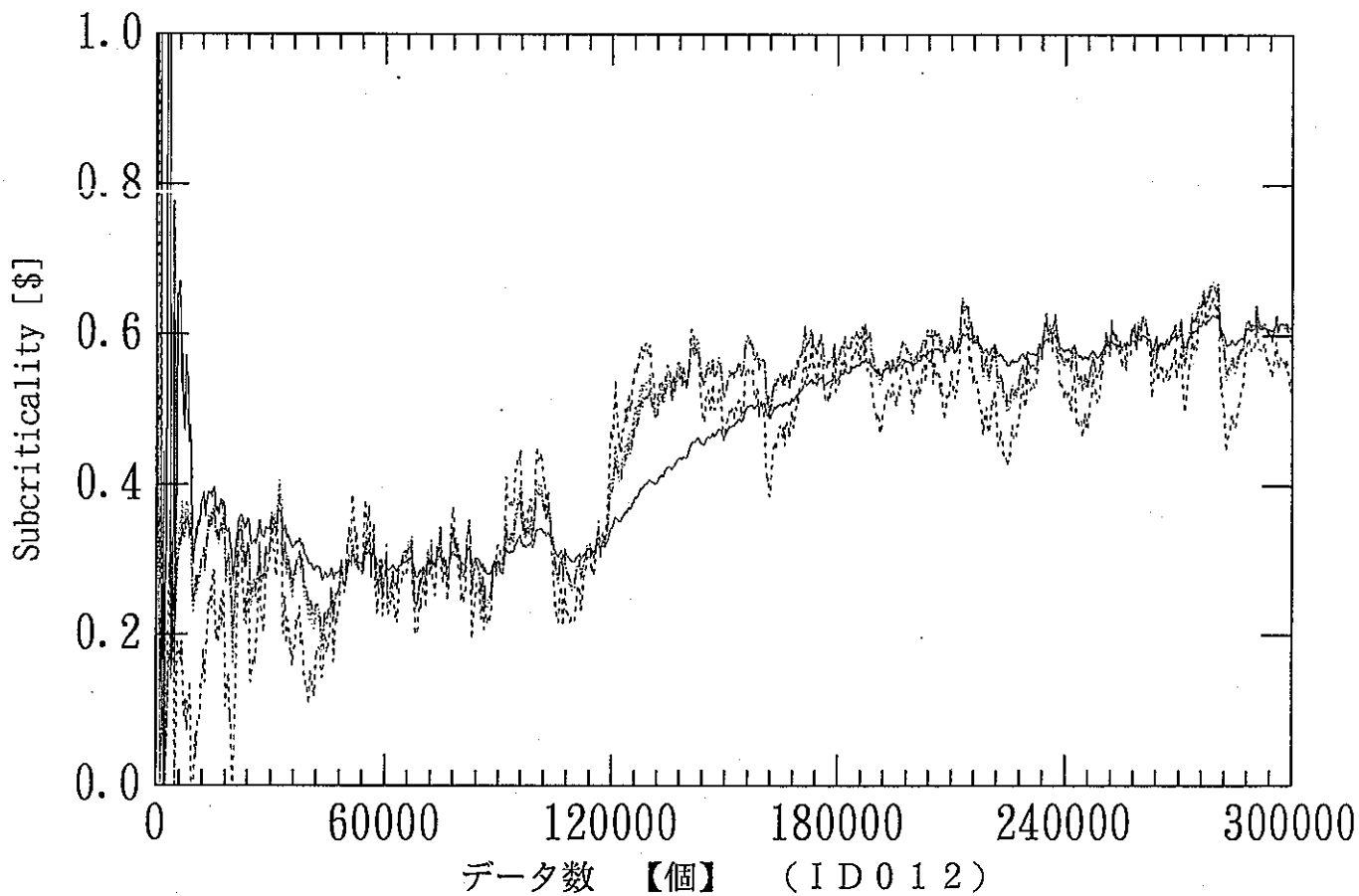


図3.12.2 Subcriticality estimated by RPE(F factor Init:0.85)&PMDA method

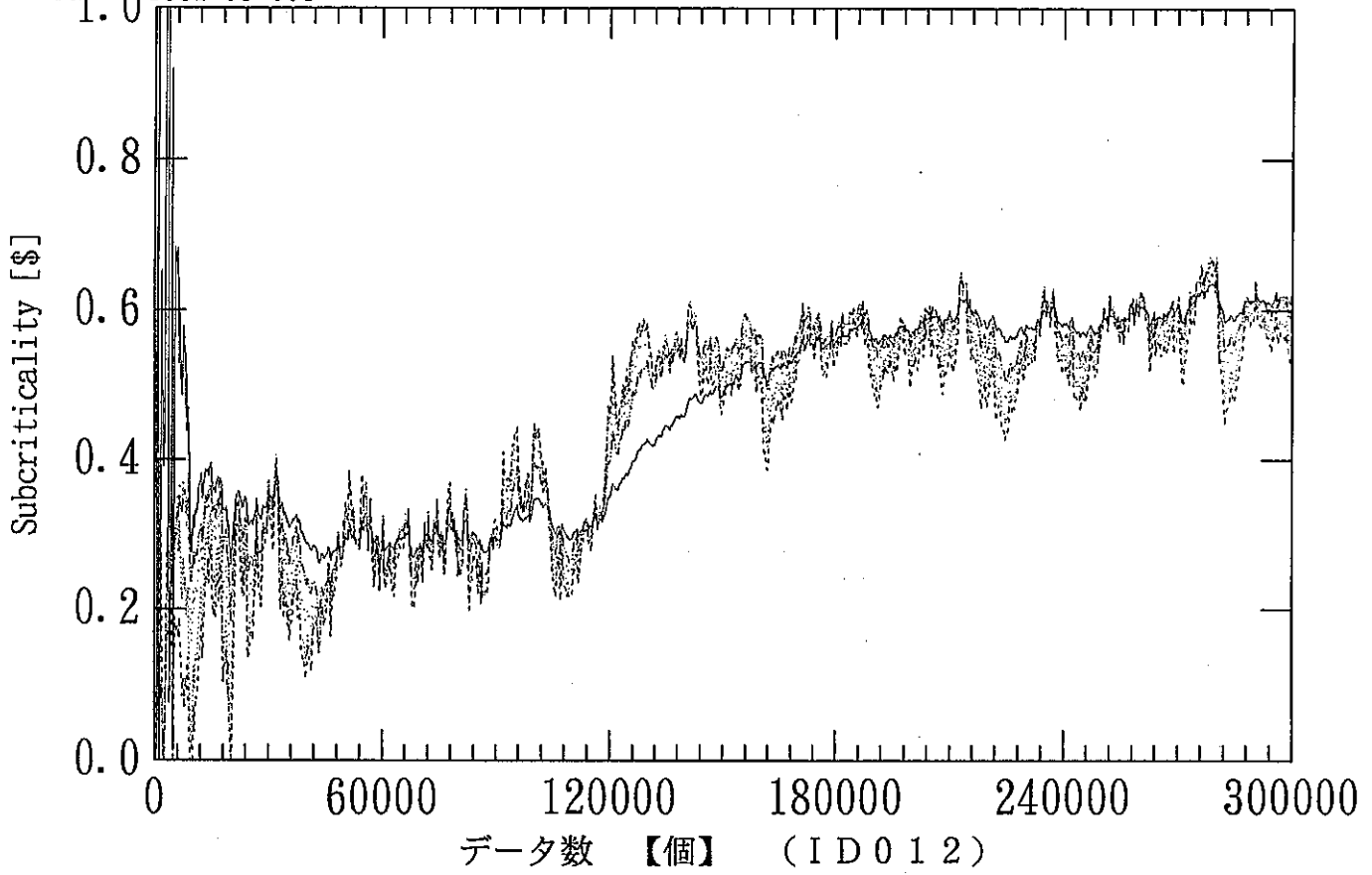


図3.23 Subcriticality estimated by RPE(F factor Init:0.80)&PMDAmethod

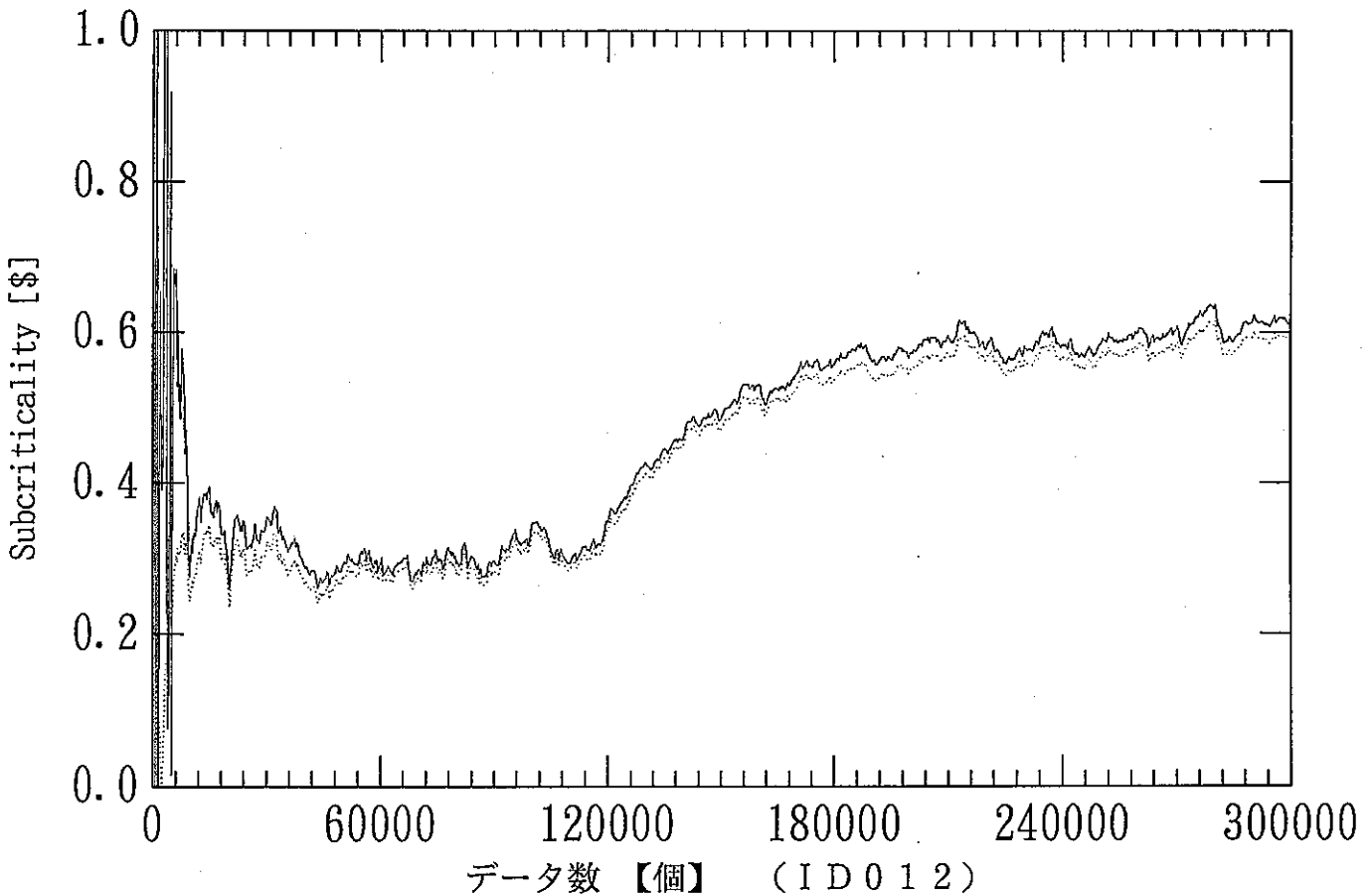


図3.23 Subcriticality estimated by ELS(F factor:1.0)&PMDA(400*1.0000 2)methodとRPE(F factor Init:0.80)&PMDAmethodの比較

表 A デジタルフィルタの設計仕様

フィルタ形式	I I R (Infinite Impulse Responce)
フィルタタイプ	L P F (低域通過)
振幅特性	B u t t e r w o r t h
サンプリング周波数	888.88888888 [Hz]
第1カットオフ周波数	222.22222222 [Hz]
第1阻止域エッジ周波数	300 [Hz]
通過域減衰量	3 [dB]
阻止域減衰量	20 [dB]
フィルタ次数	4

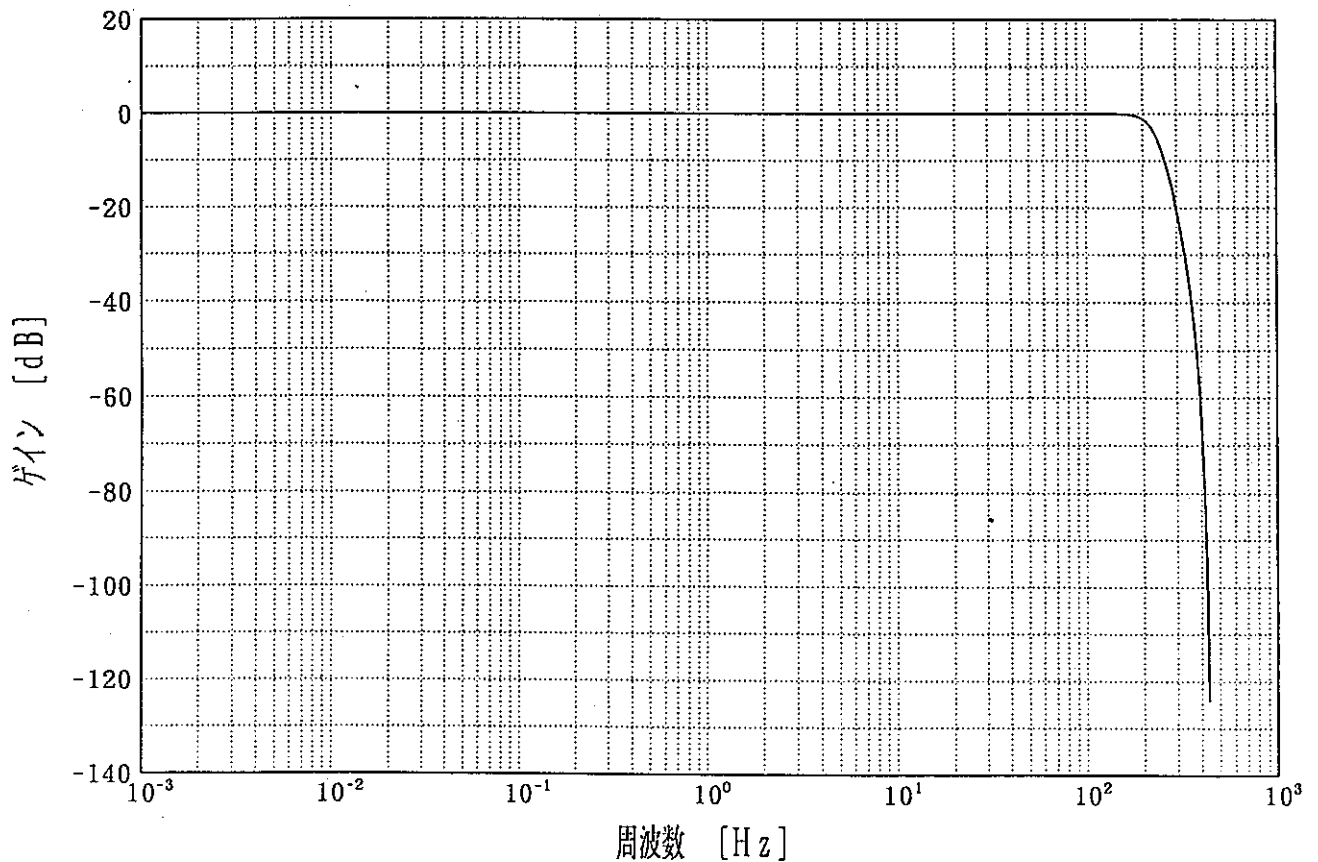


図 3.14.1 Low Pass filter 特性

(Sampling frequency = 888.888...Hz , Cut-off frequency = 222.222...Hz)

表B デジタルフィルタの設計仕様

フィルタ形式	I I R (Infinite Impulse Responce)	
フィルタタイプ	H P F (高域通過)	
振幅特性	B u t t e r w o r t h	
サンプリング周波数	444.44444444	[Hz]
第1カットオフ周波数	0.20	[Hz]
第1阻止域エッジ周波数	0.10	[Hz]
通過域減衰量	3	[dB]
阻止域減衰量	20	[dB]
フィルタ次数	4	

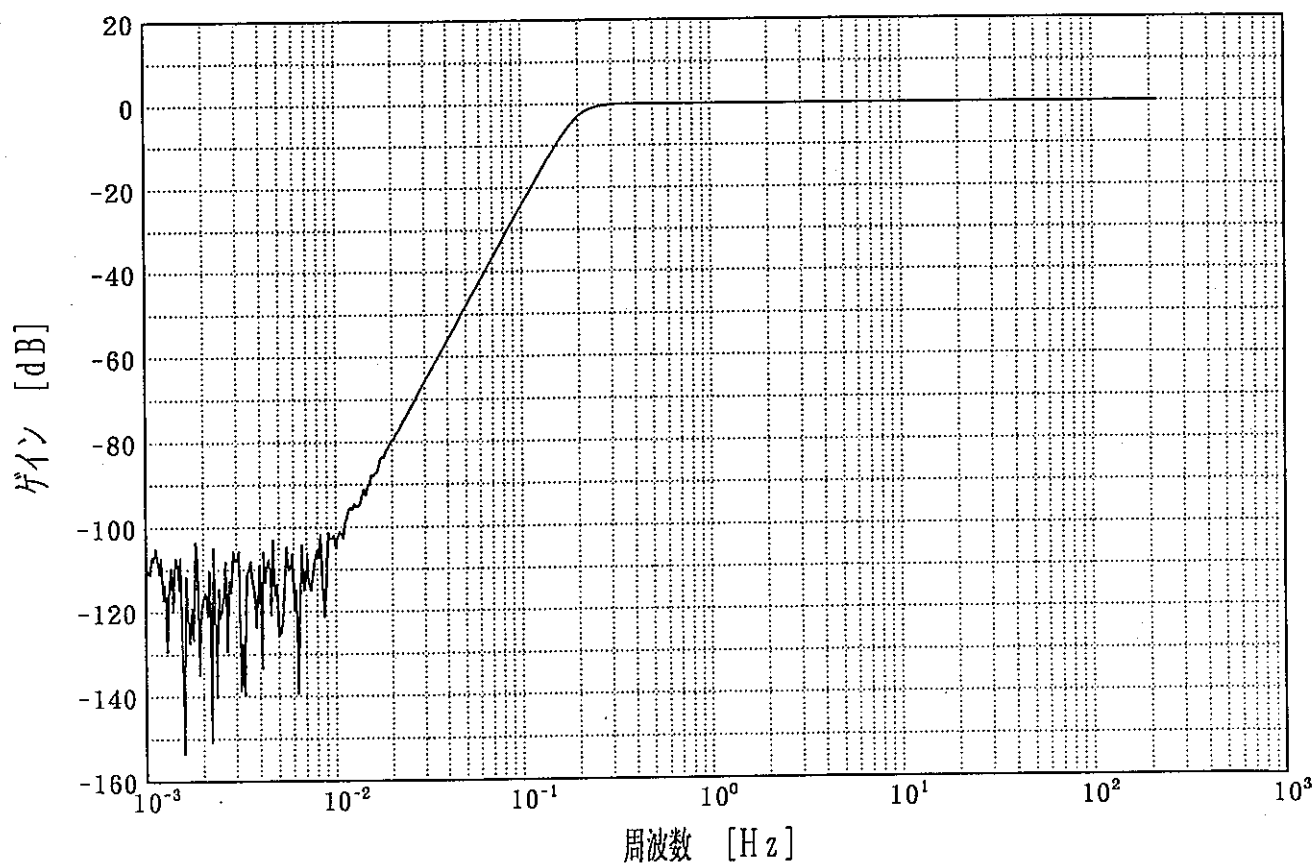


図 3.14.2 High Pass filter 特性
 (Sampling frequency = 444.444...Hz , Cut-off frequency = 0.2Hz)

PSD by Direct FFT Method

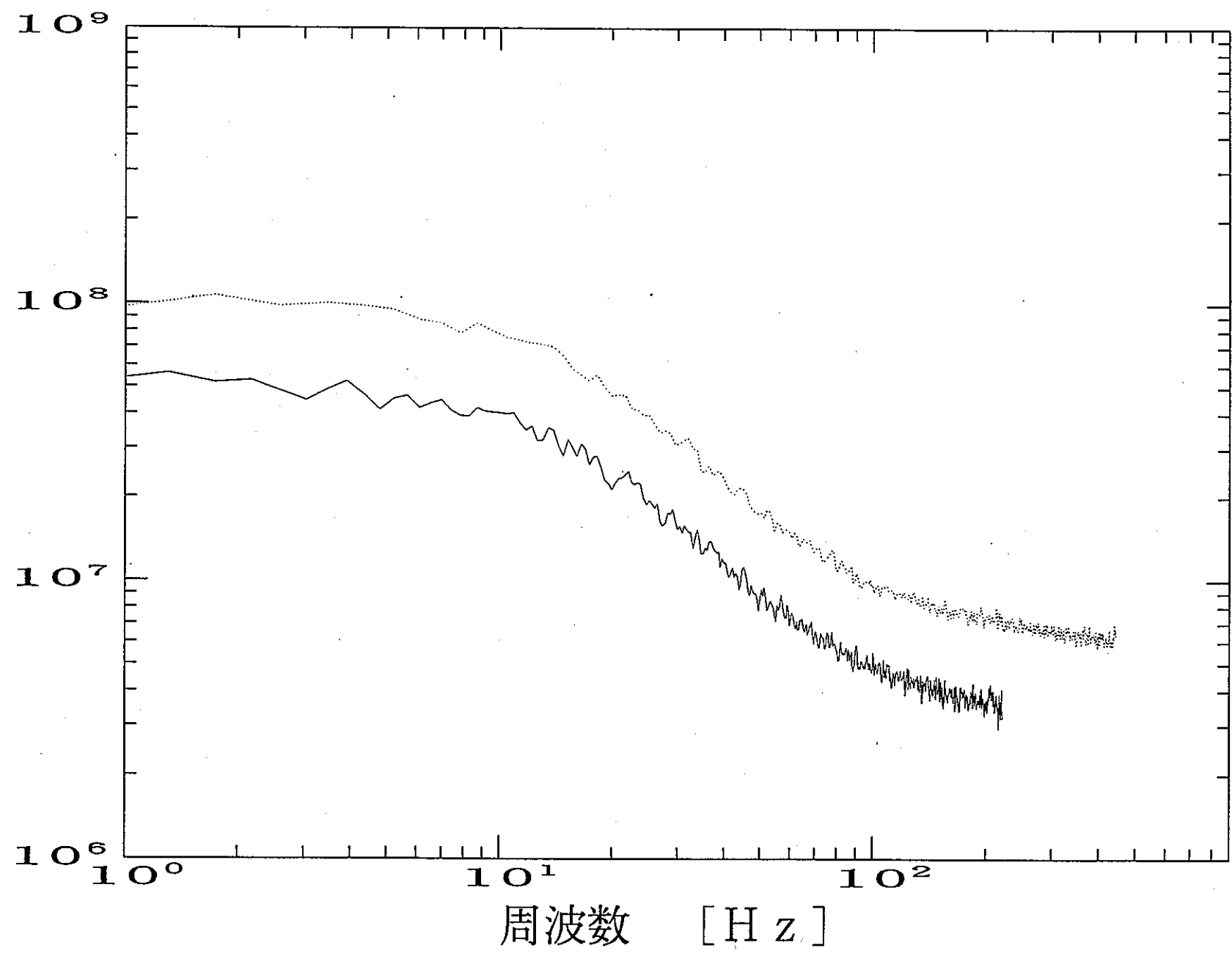


図 3.15.1 データ (ID004) の PSD

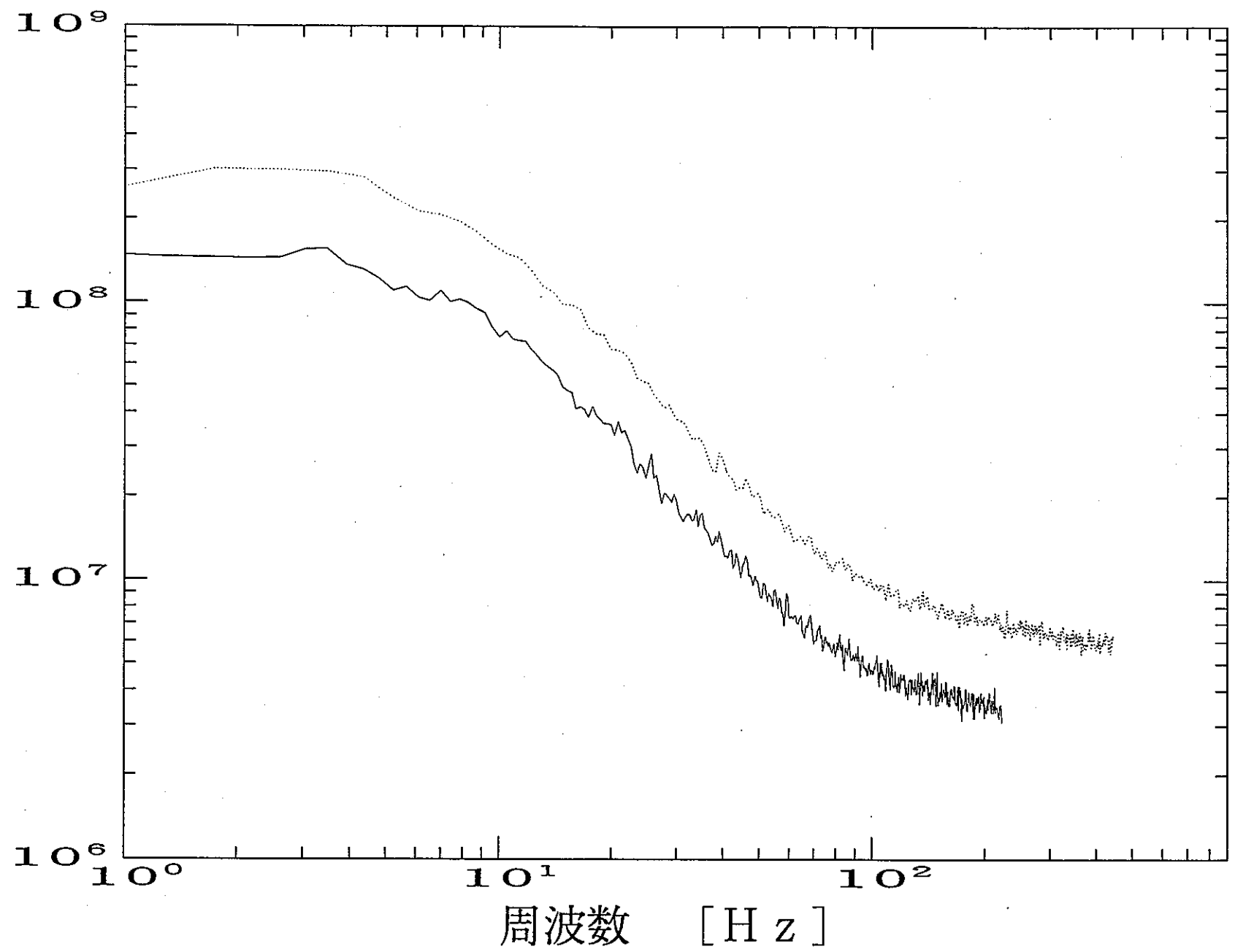


図 3.15.2 データ (ID012) のPSD

表 4 - 1 D C A 測定体型

炉心番号	S 1 - 5
燃料種類	二酸化ウラン燃料集合体(1.2%EU)
燃料本数	128
格子ピッチ	20.0cm
炉心中央タンク	外径：550mm
クラスター内軽水	
重水・ボロン濃度	4.953ppm
臨界水位	1450.3mm
重水水位反応度	0.063%ΔK/K/cm
β_{eff}	0.0072
中性子寿命	0.0003sec
λ	0.08

表 4 - 2 レコーダデータ

データID	測定年月日	測定開始時刻	カウンタID1	カウンタID2
014	94 10 05	13 11 00	0 40 00	0 50 00
024	94 10 07	11 58 00	0 00 00	0 10 00
026	94 10 07	12 26 30	0 11 30	0 21 27
027	94 10 07	12 41 30	0 00 00	0 32 00
029	94 10 07	14 51 00	0 00 00	0 10 00

表 4 - 3 検出器データ

データID	検出器
	CH1
014	炉内 2" He-3
024	炉内 1" BF ₃
026	炉内 2" He-3

データID	検出器
	CH1
027	炉内 2" He-3
029	炉内 1" BF ₃

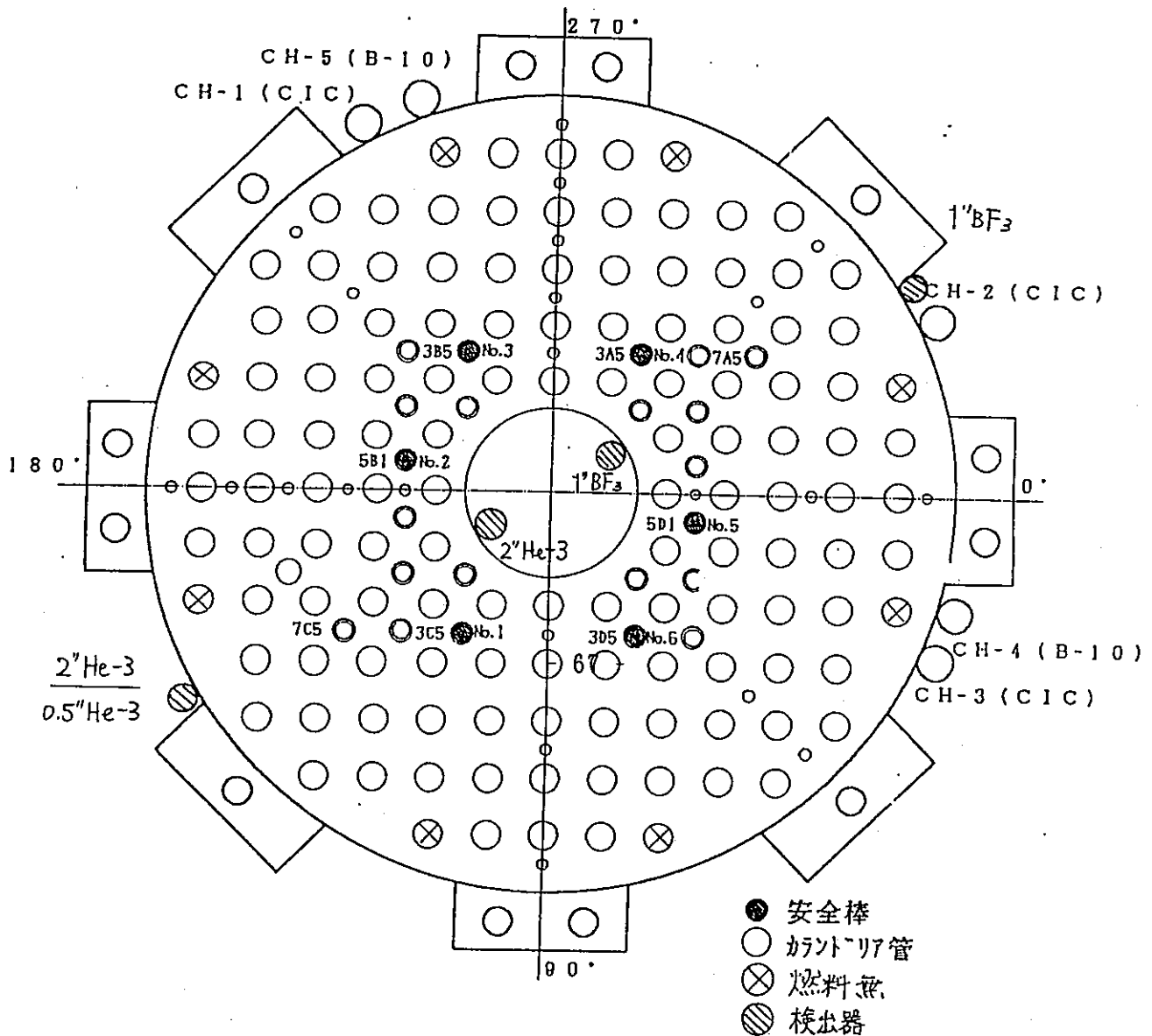


図 4 - 1 炉心配置図

表 4 - 4 測定データ

データID	重水水位 (mm)	実行 増倍率	外部 中性子源	カットオフ周波数(Hz)		計数率 CH1
				P. to A.	Low Pass	
014	1300.0	0.989	無	1 k	1 k	8300
024	1450.4	1.000	無	1 k	1 k	140000
026	1399.7	0.997	無	1 k	1 k	25000
027	水位低下		無	1 k	1 k	25000
029	1450.311	1.000	無	1 k	1 k	130000

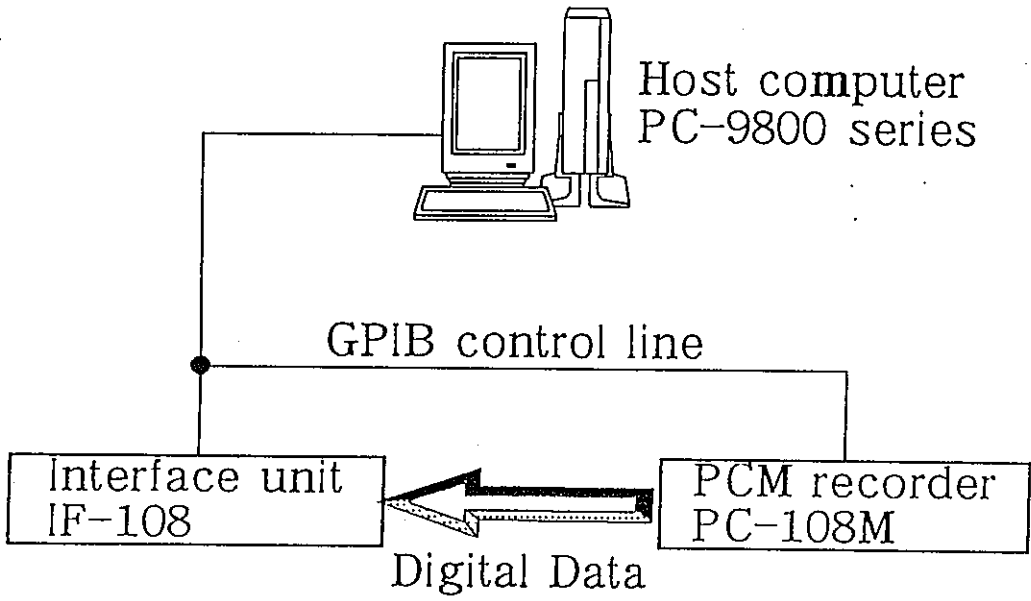


図 4 - 2 各デバイスの接続図

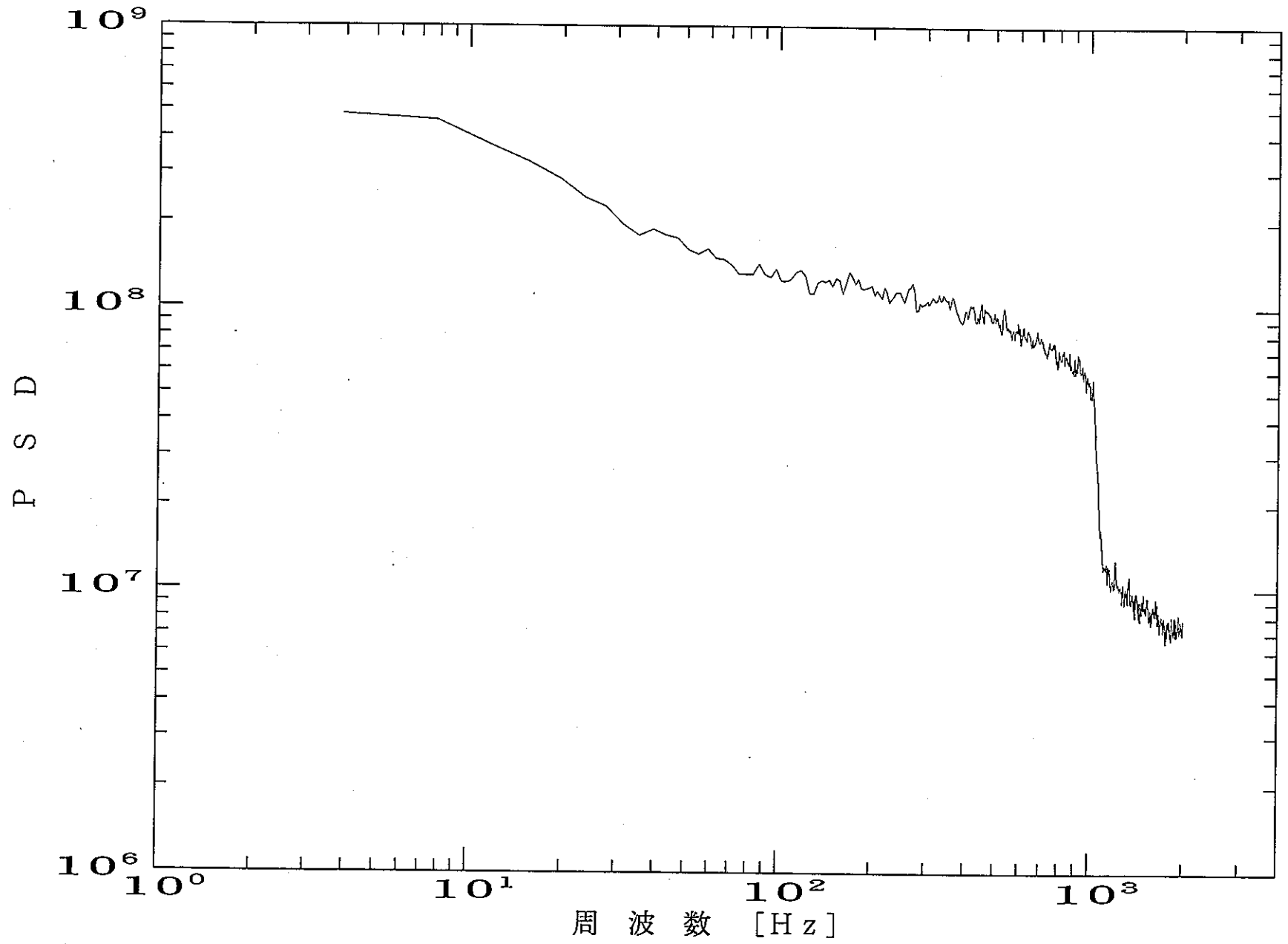


図 4-3 高速フーリエ変換 (FFT) による P S D
(IDコード : 014 , アドレス : +04330
分周レート : 12 , 分周周波数 : 4000Hz)

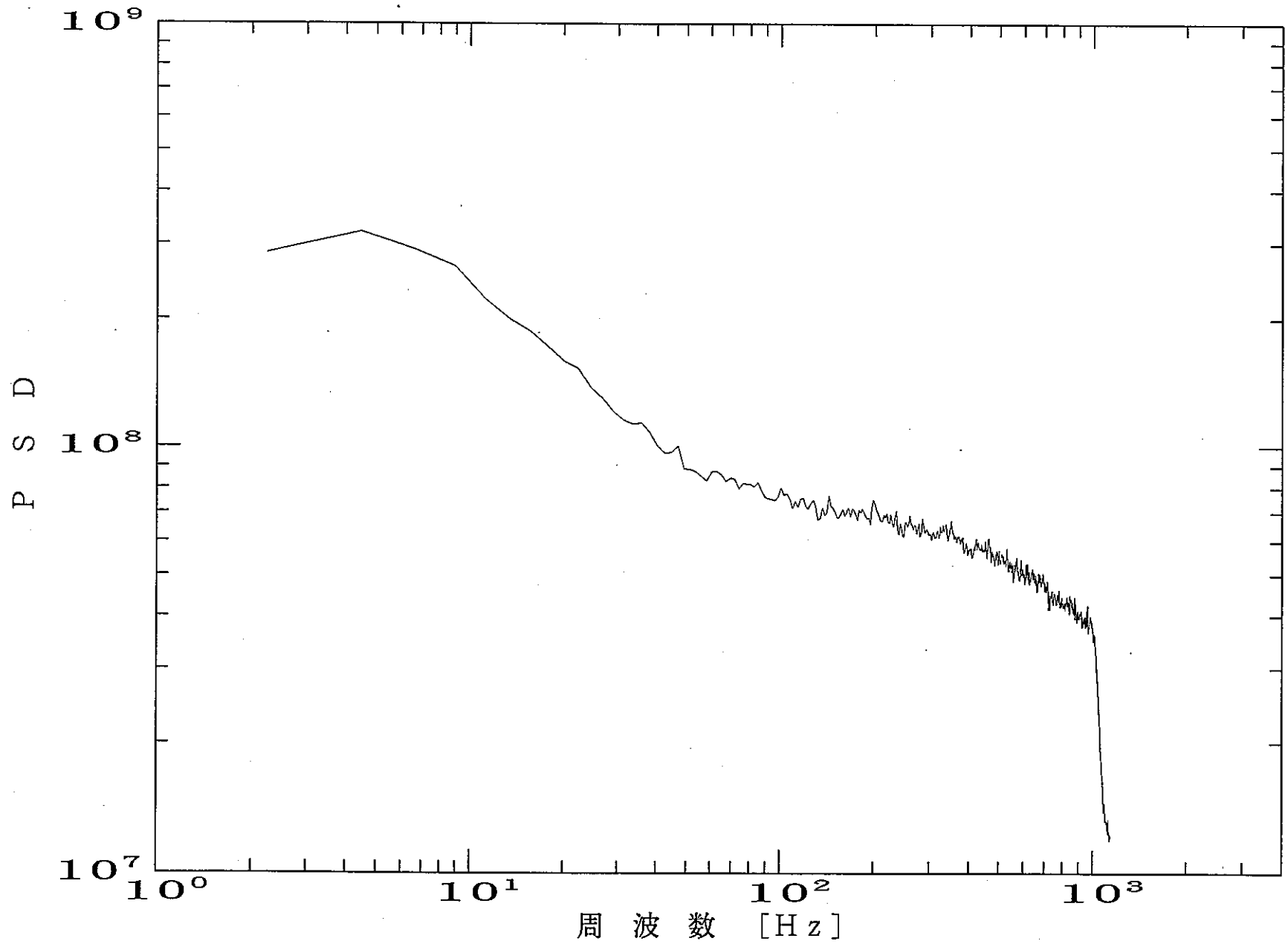


図 4-4 高速フーリエ変換 (FFT) による P S D
(IDコード : 014 , アドレス : +04330
分周レート : 21 , 分周周波数 : 2285.7142 Hz)

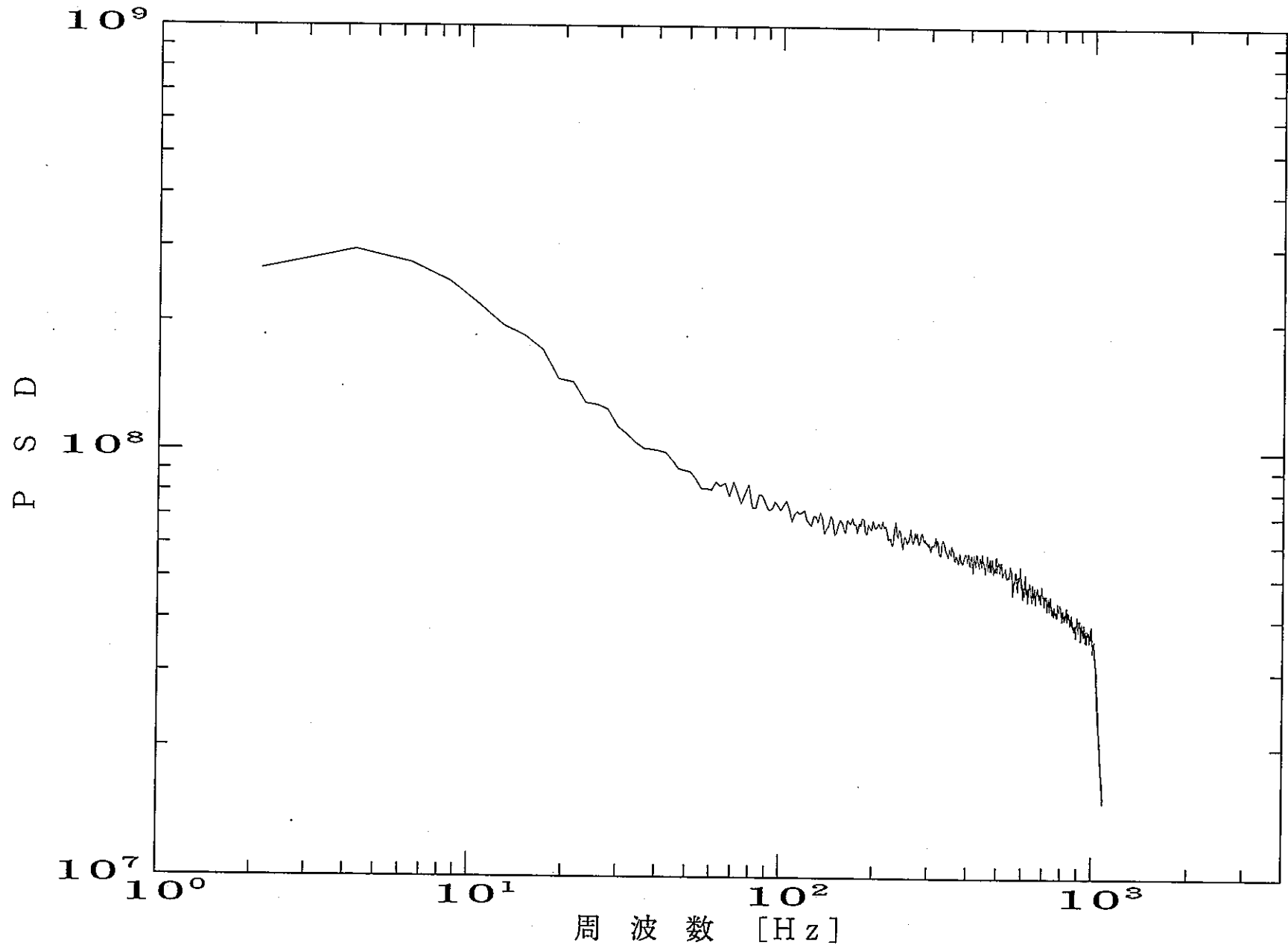


図 4-5 高速フーリエ変換 (FFT) による P S D
(IDコード : 014 , アドレス : +04330
分周レート : 22 , 分周周波数 : 2181.8181 Hz)

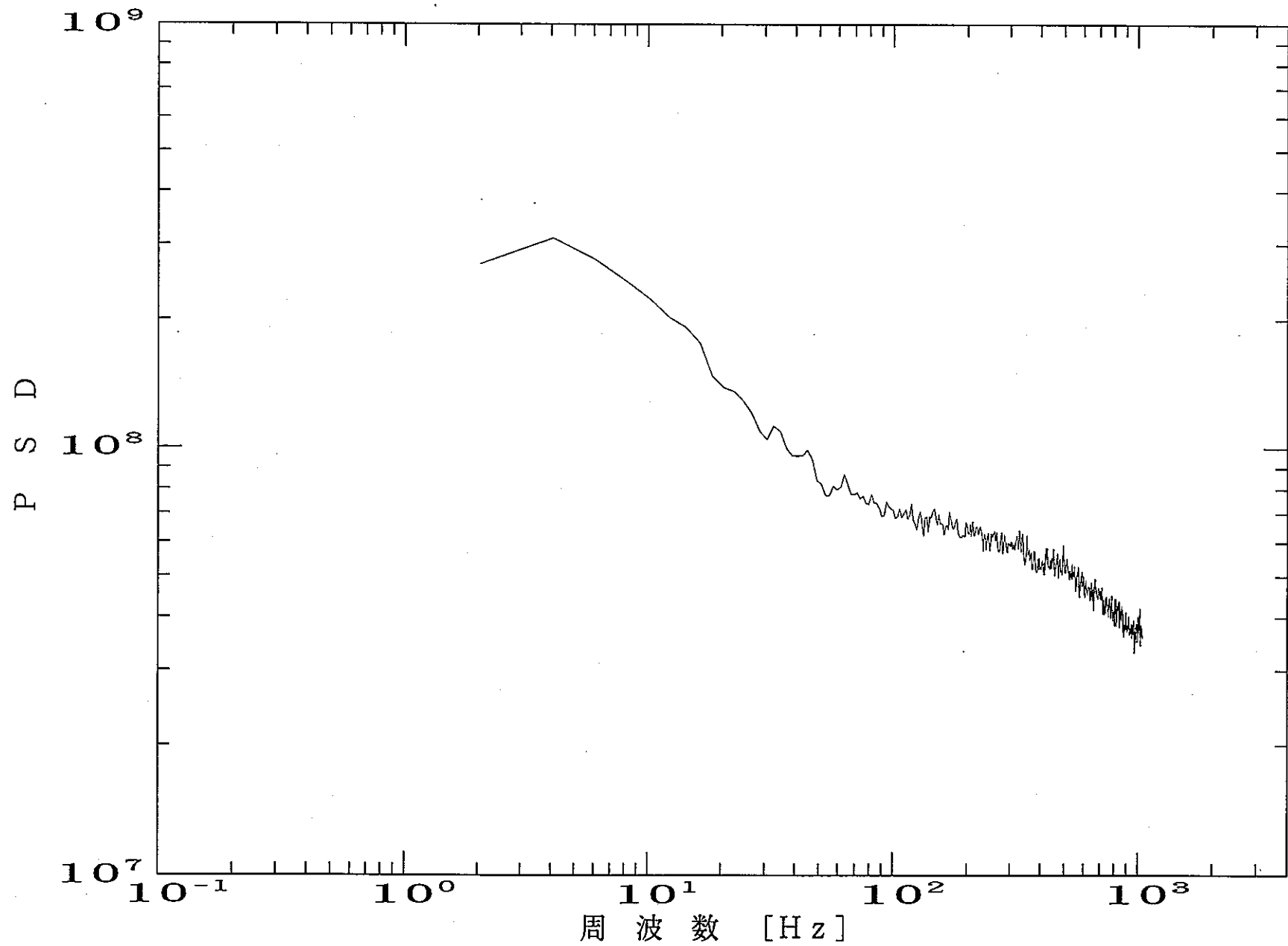


図 4-6 高速フーリエ変換 (FFT) による P S D
 (IDコード : 014 , アドレス : +04330
 分周レート : 23 , 分周周波数 : 2086.9565 Hz)

表 4 - 5 L P F の設計仕様

フィルタ形式	I I R (Infinite Impulse Responce)
フィルタタイプ	L P F (低域通過)
振幅特性	B u t t e r w o r t h
サンプリング周波数	2 2 8 5 . 7 1 4 2 8 6 [H z]
第一カットオフ周波数	2 0 0 [H z]
第一阻止域エッジ周波数	6 0 0 [H z]
通過域減衰量	1 [d B]
阻止域減衰量	6 0 [d B]
フィルタ次数	6

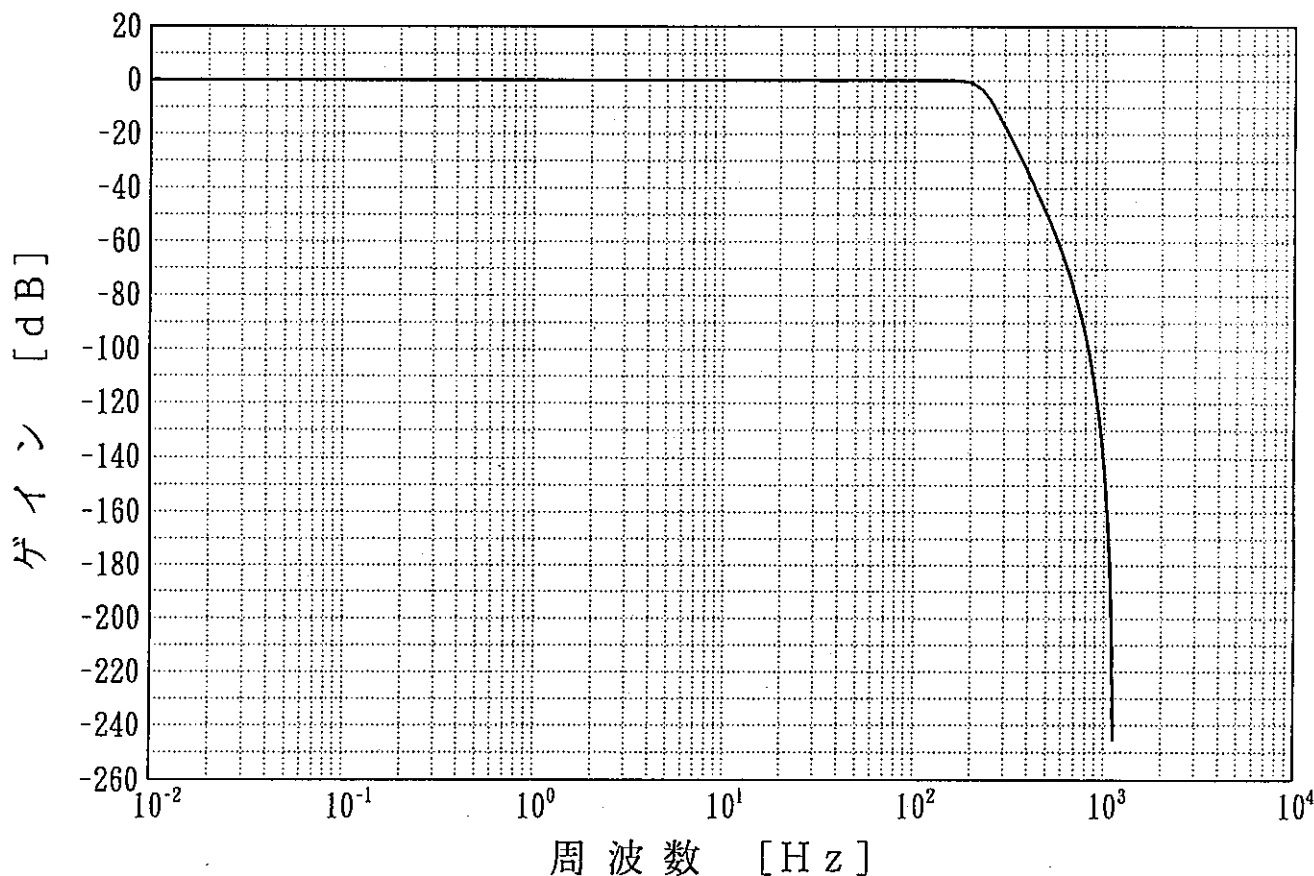


図 4 - 7 Low Pass filter 特性
 (Sampling frequency = 2285.714286 Hz ,
 Cut off frequency = 200 Hz)

P S D by Direct FFT Method

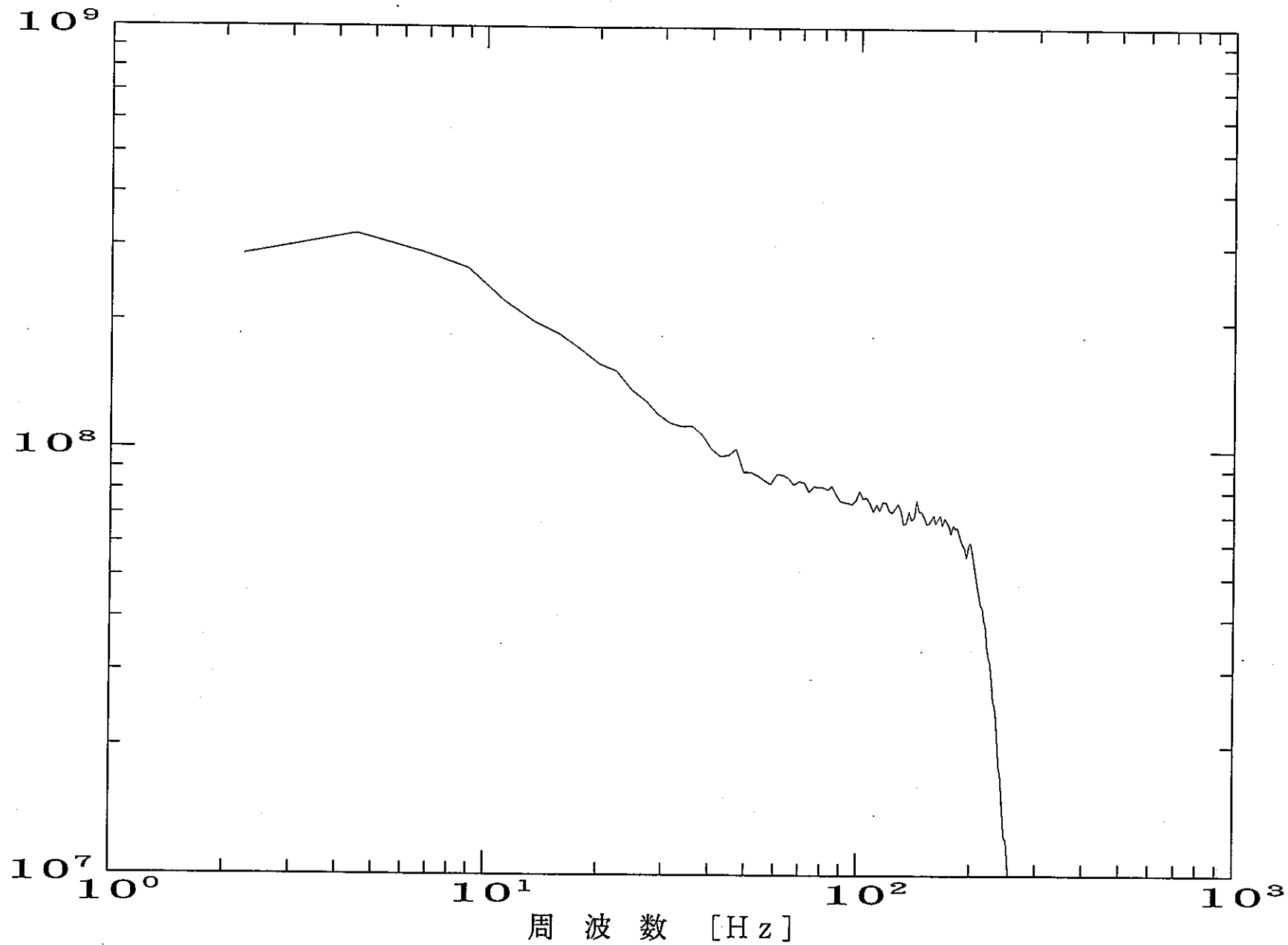


図 4-8 高速フーリエ変換(FFT)によるP S D
(ID : 014 , アドレス : +04330 ,
サンプリング周波数 : 2285.714286 Hz , L P F : 200 Hz)

P S D by Direct FFT Method

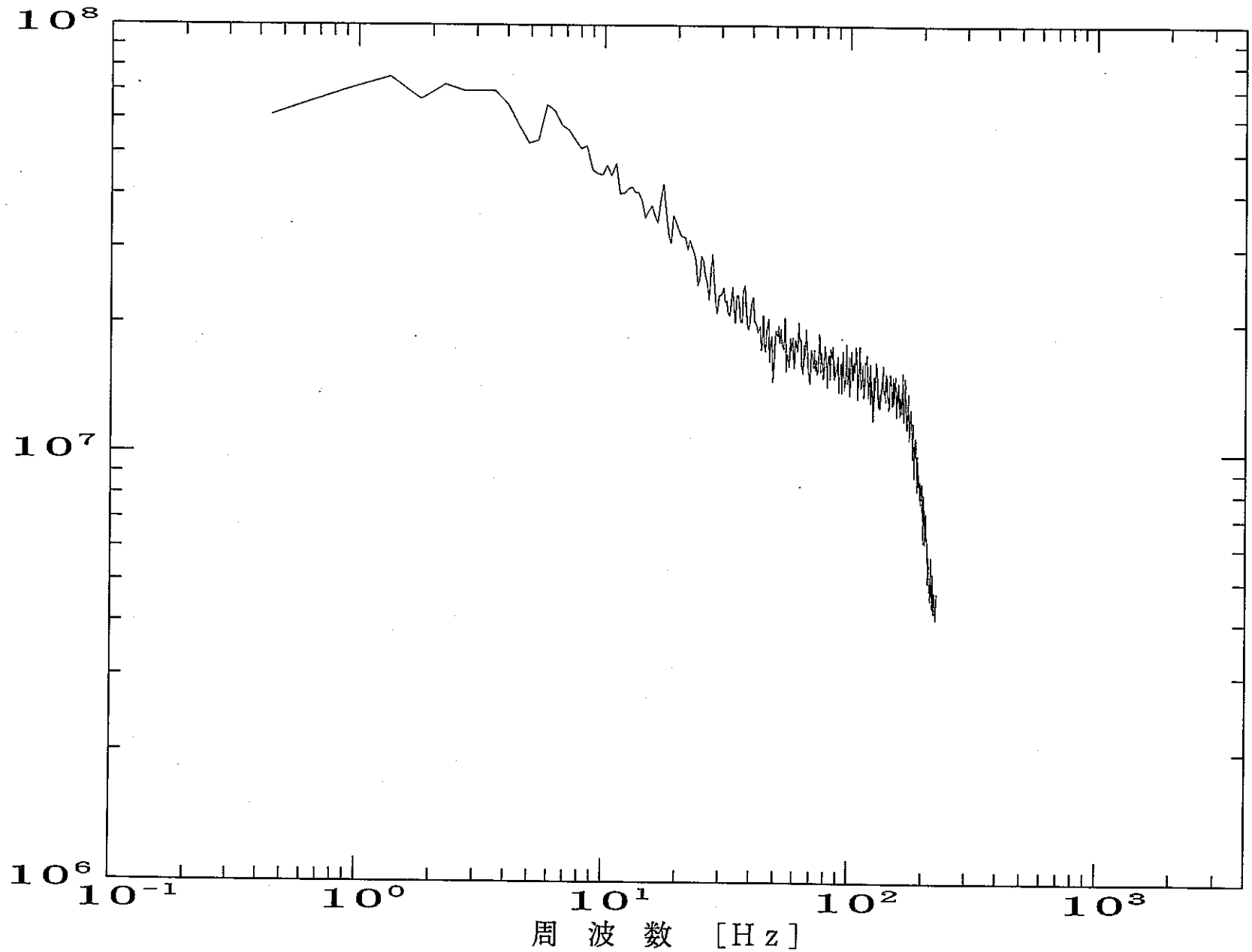


図 4-9 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 014 , アドレス : +04330 ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 180 Hz)

P S D by Direct FFT Method

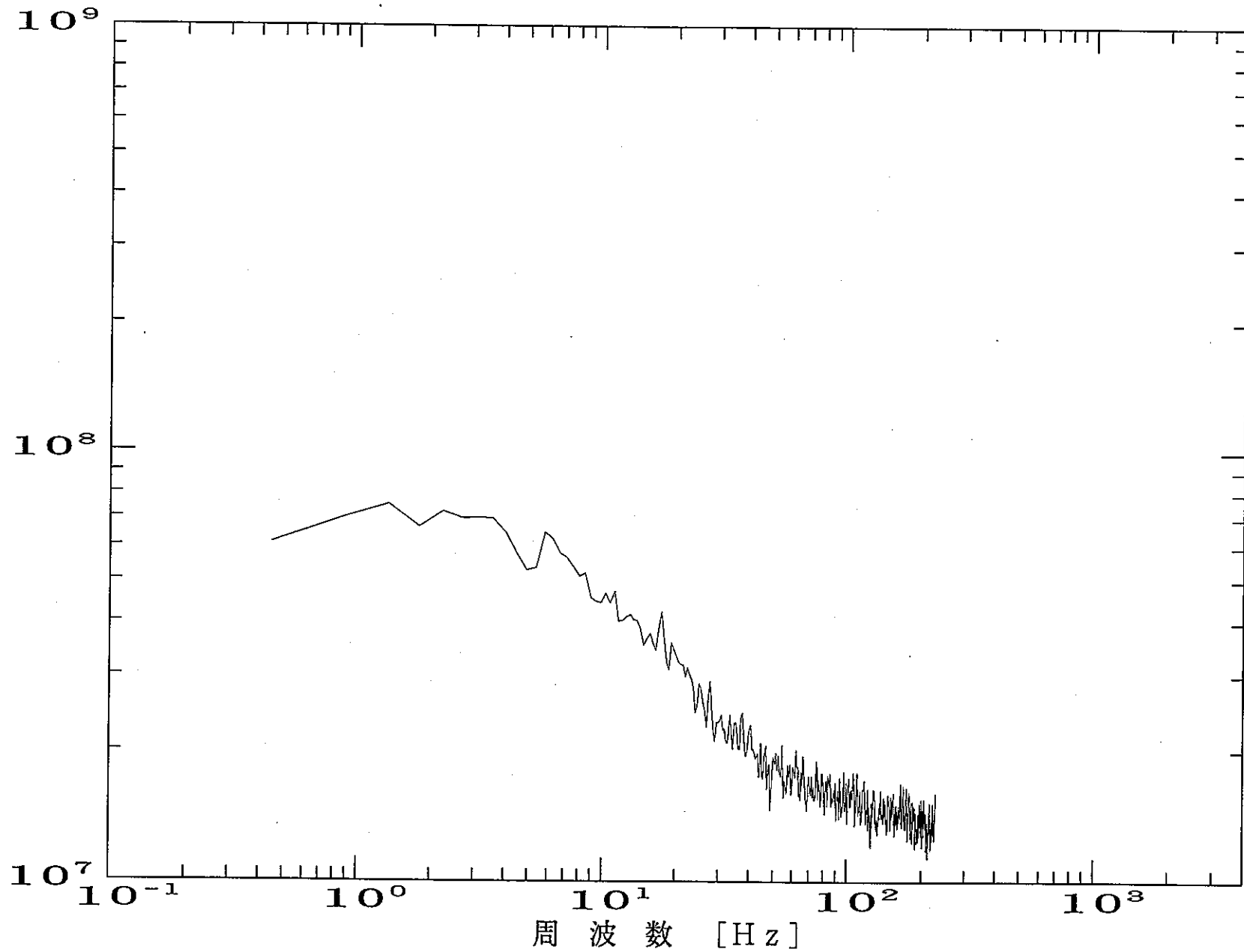


図 4-10 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 014 , アドレス : +04330 ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 205 Hz)

P S D by Direct FFT Method

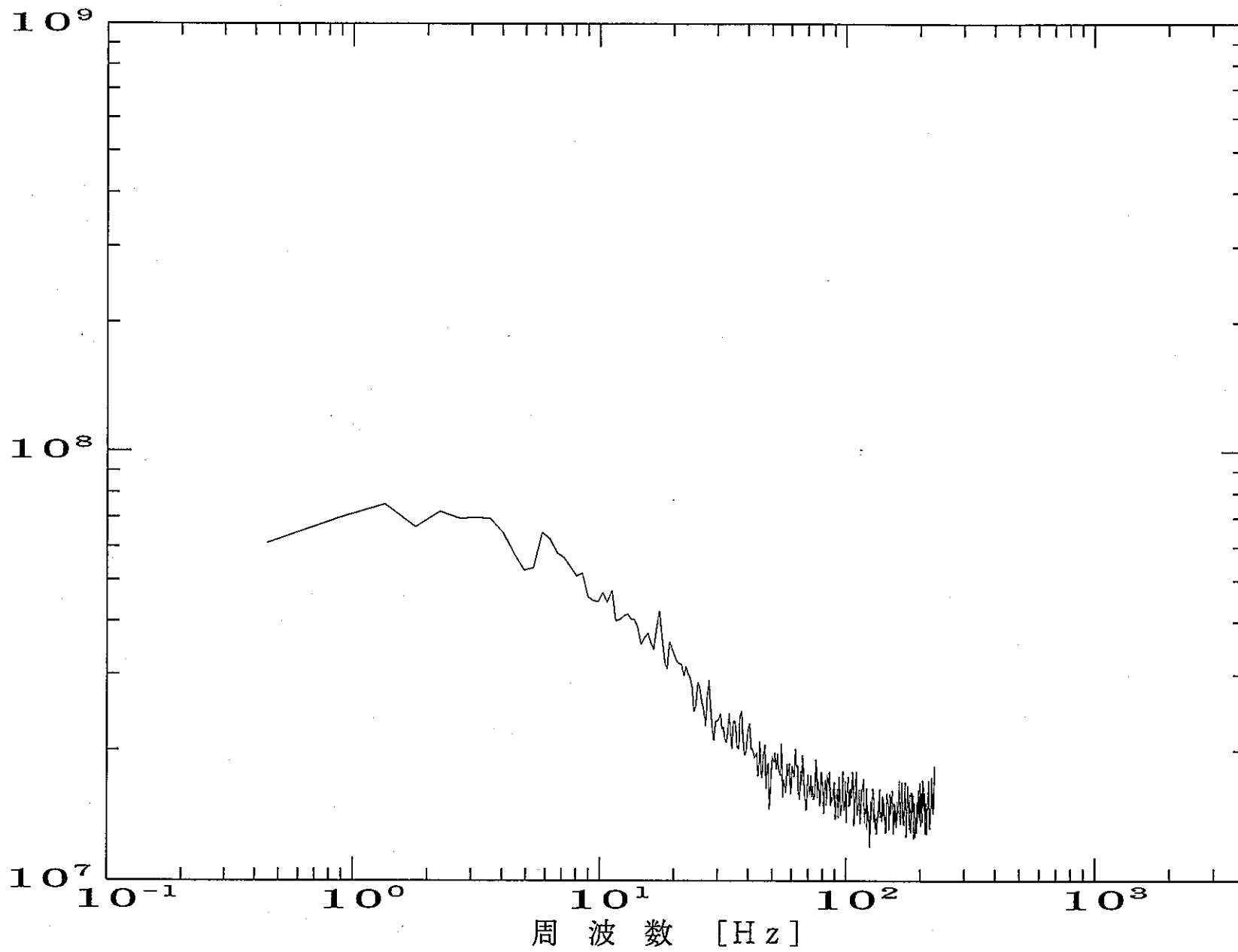


図 4-11 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 014 , アドレス : +04330 ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 210 Hz)

P S D by Direct FFT Method

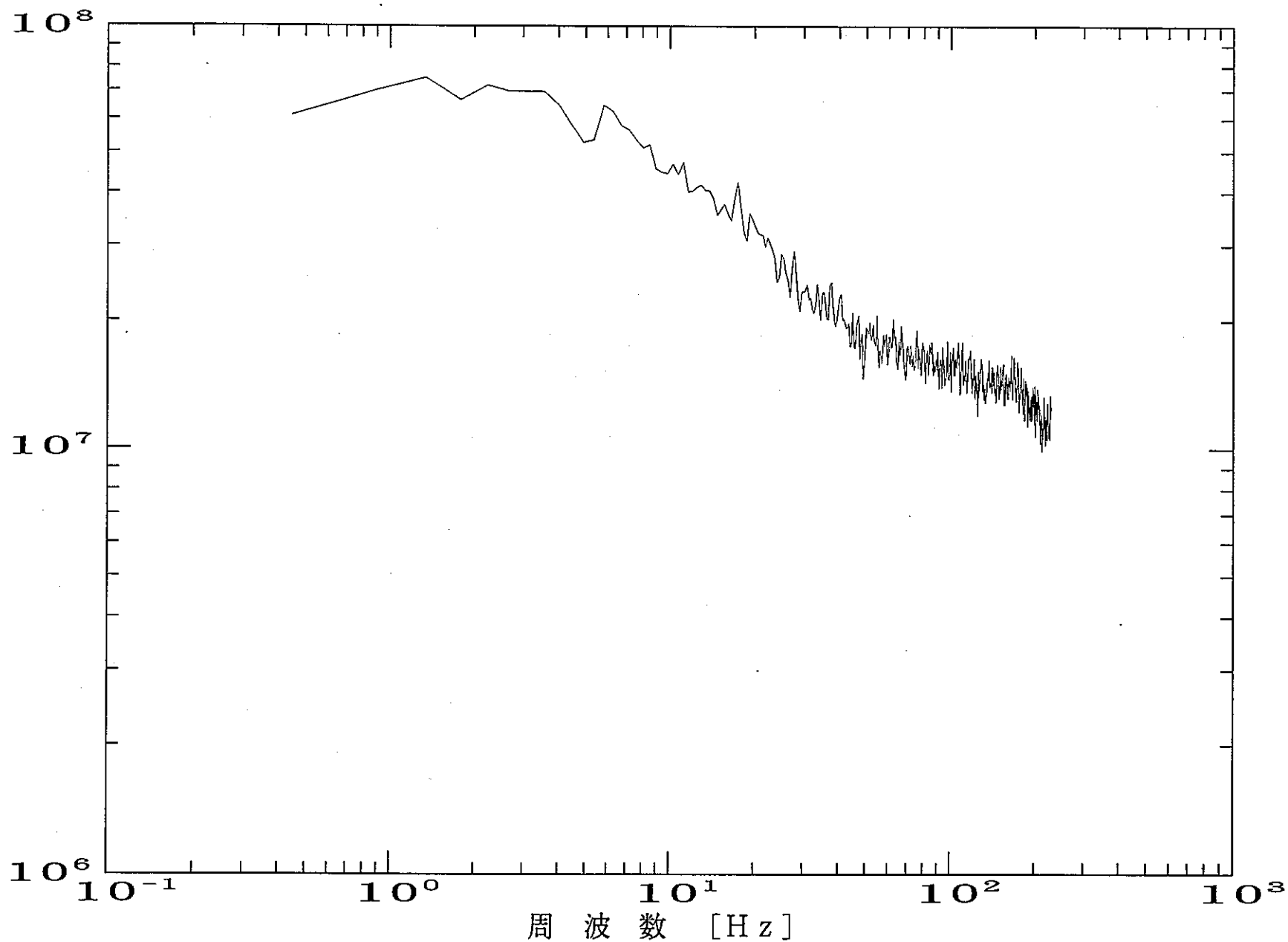


図 4-12 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード:014 , アドレス:+04330 , LPF : 200Hz 6次
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz)

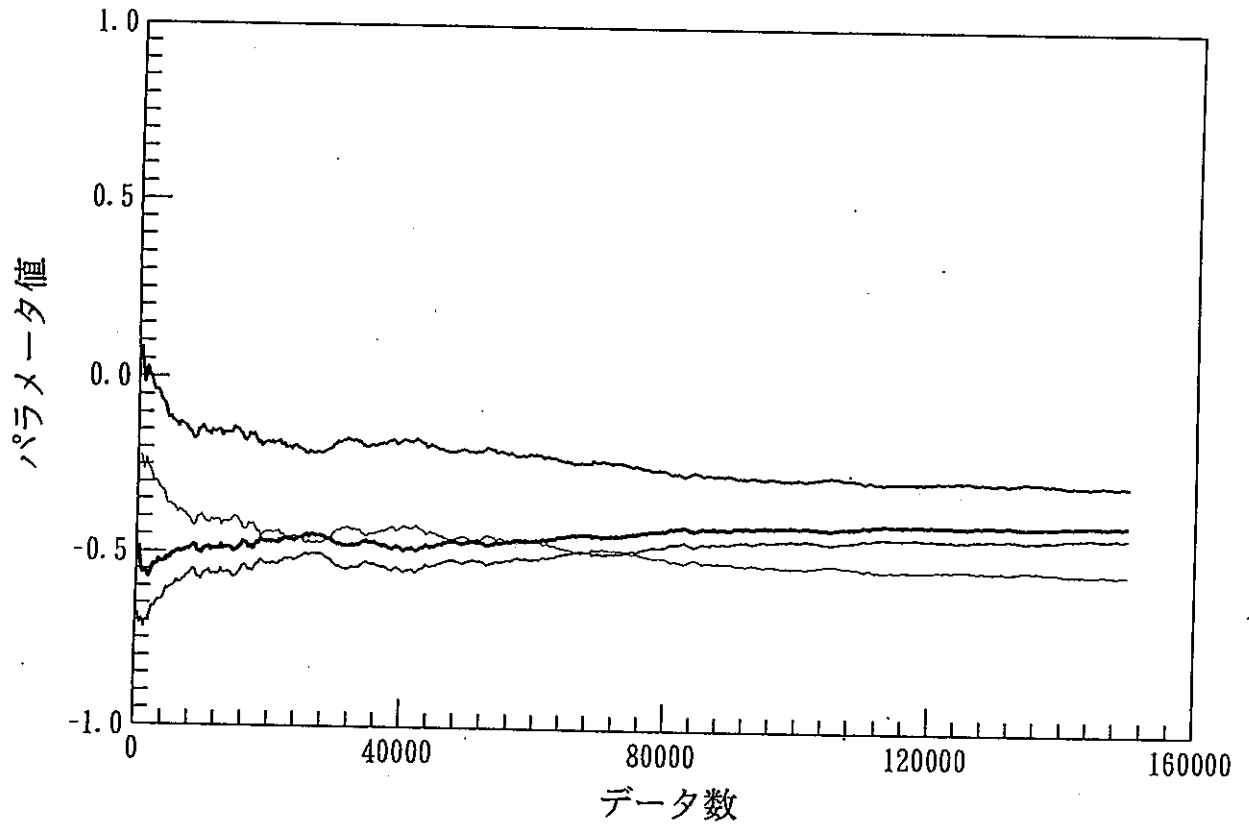


図 4-13 ELS法 (ARMA(2,2)) による推定
 (IDコード : 014 , フォース : +04330 , LPF : 200Hz 6次 ,
 サブリンク周波数 : 457.1428571 Hz)

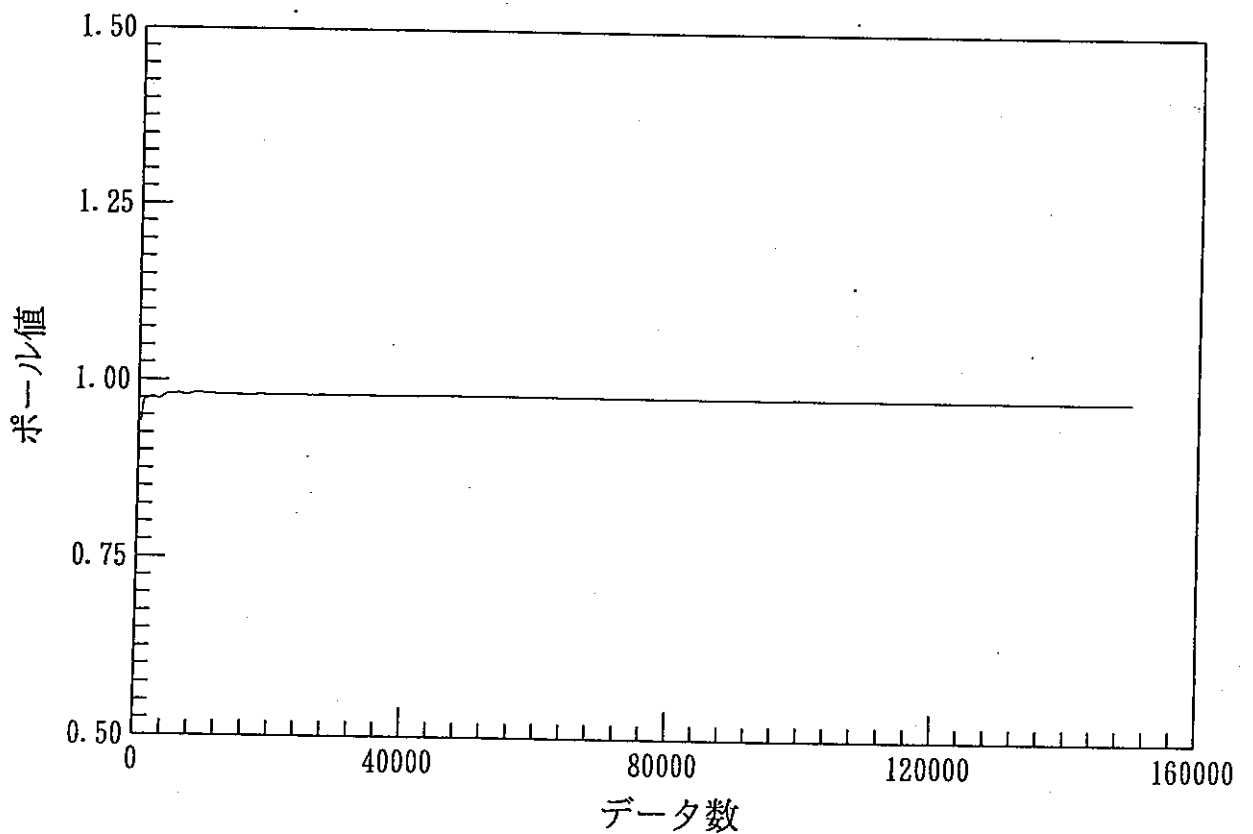


図 4-14 ELS法 (ARMA(2,2)) による推定
 (IDコード : 014 , フォース : +04330 , LPF : 200Hz 6次 ,
 サブリンク周波数 : 457.1428571 Hz)

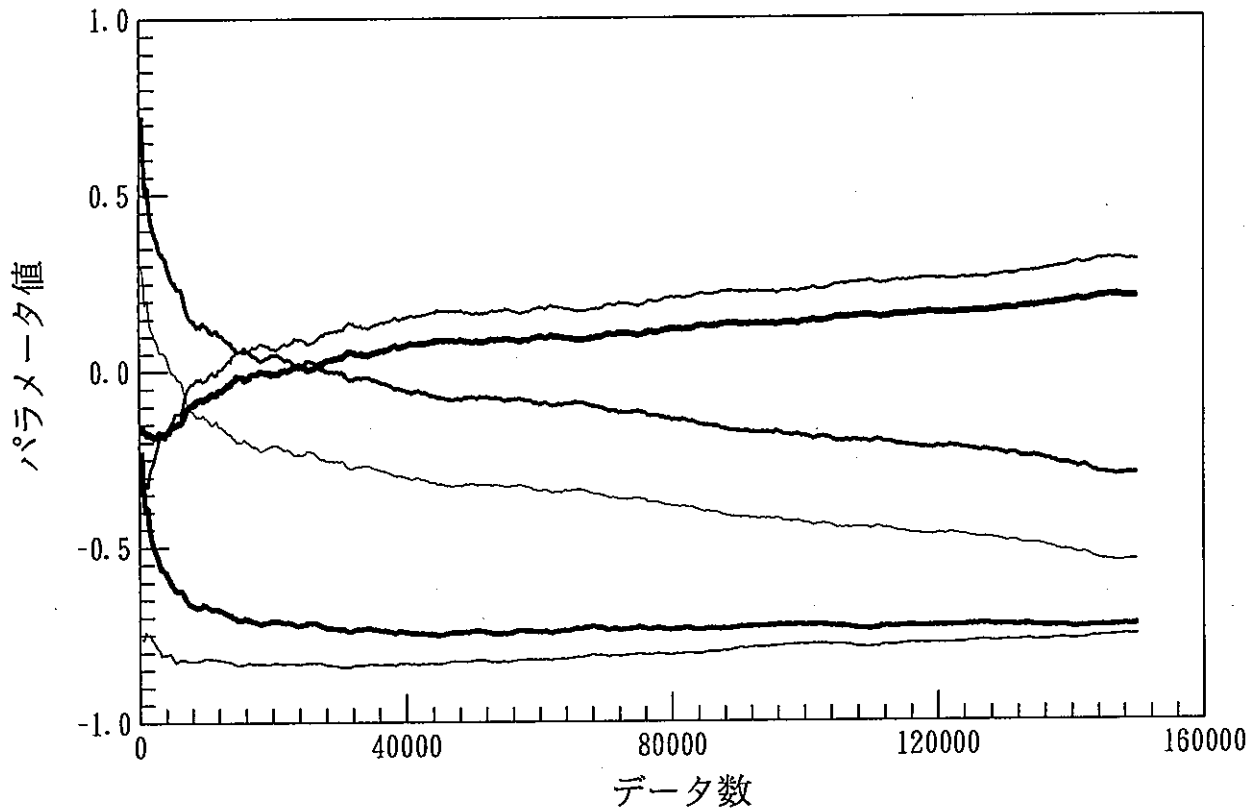


図 4-15 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 014 , フォルズ : +04330 , LPF: 200Hz 6次
 サンプル周波数 : 457.1428571 Hz)

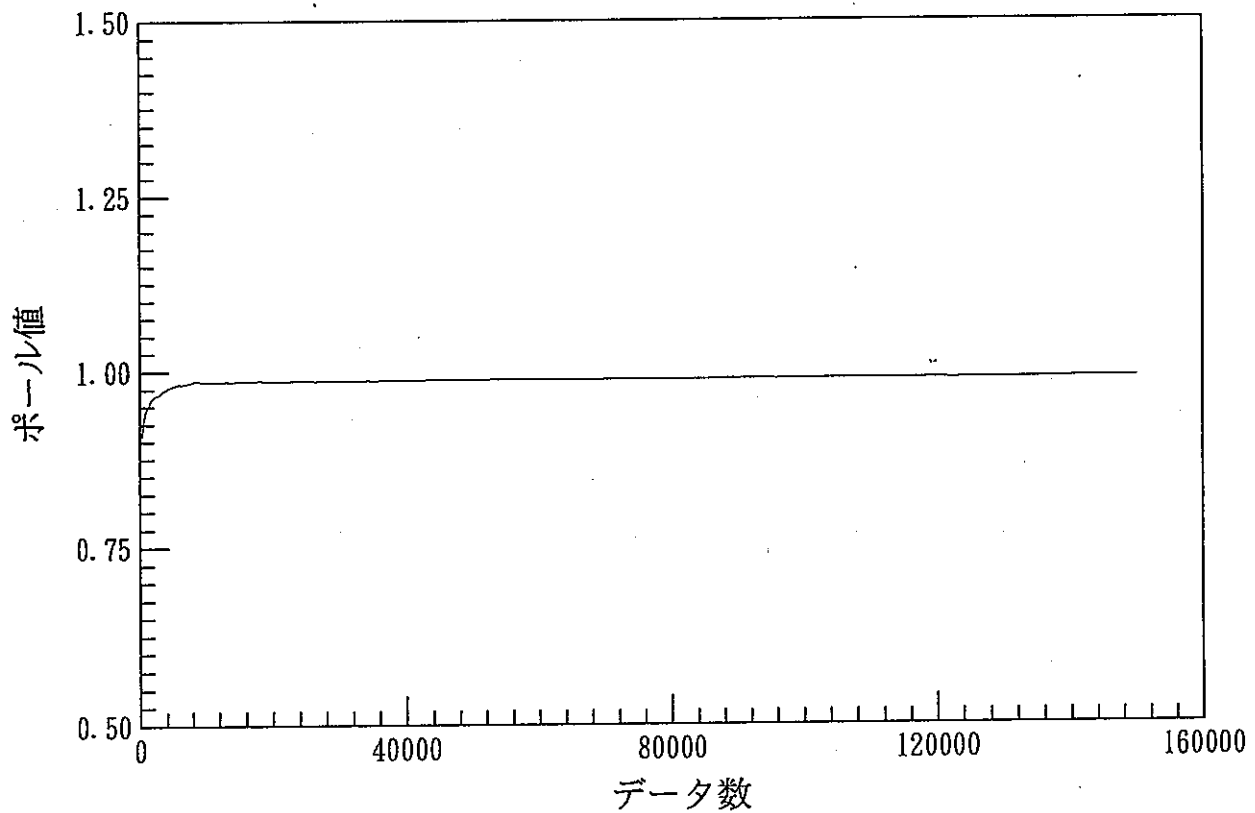


図 4-16 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 014 , フォルズ : +04330 , LPF : 200Hz 6次,
 サンプル周波数 : 457.1428571 Hz)

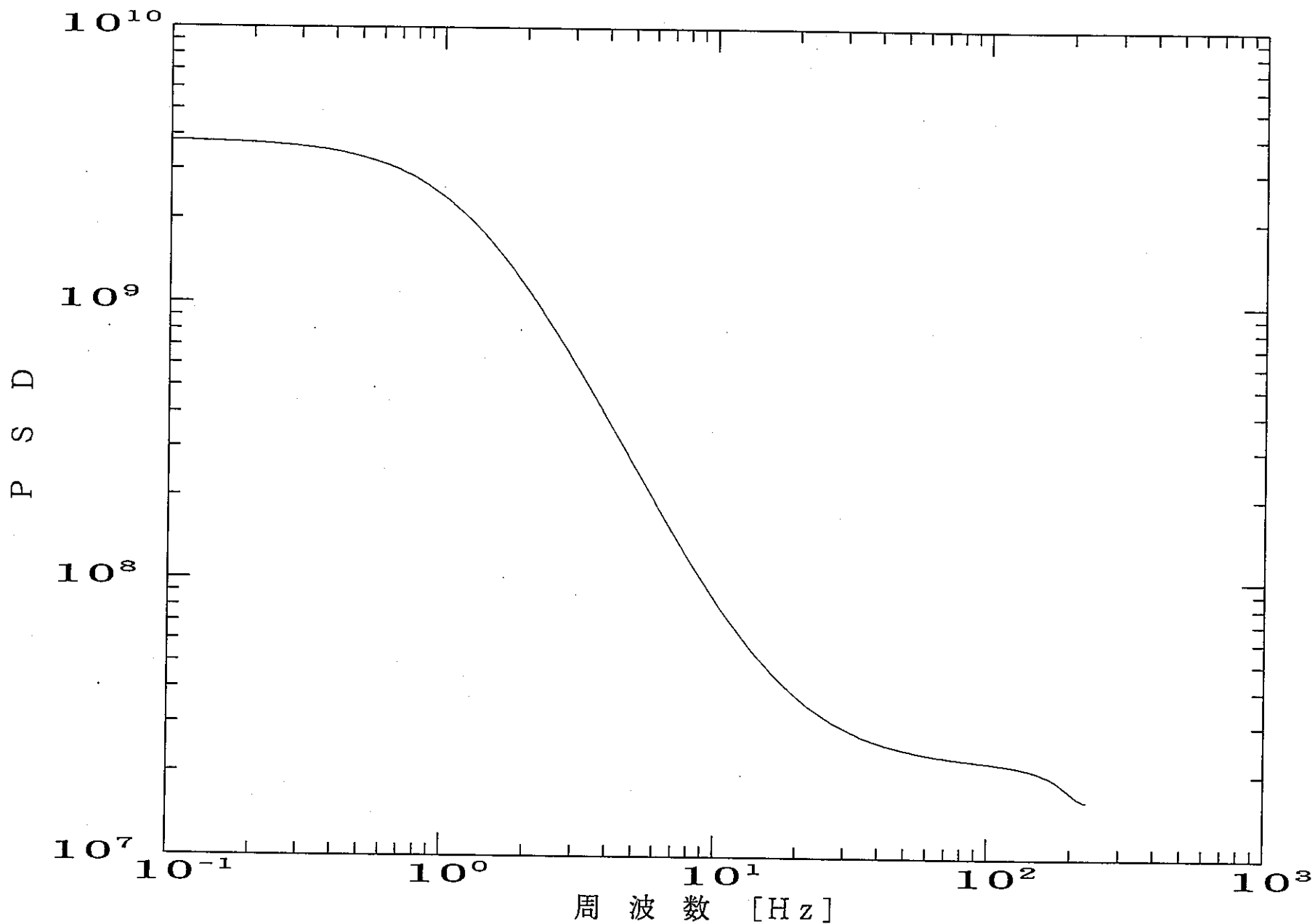


図 4-17 ARMA(2,2)パラメータより求めたP S D
(IDコード : 014 ,アドレス : +04330 , LPF : 200Hz 6次
サブリング周波数 : 457.1428571 Hz).

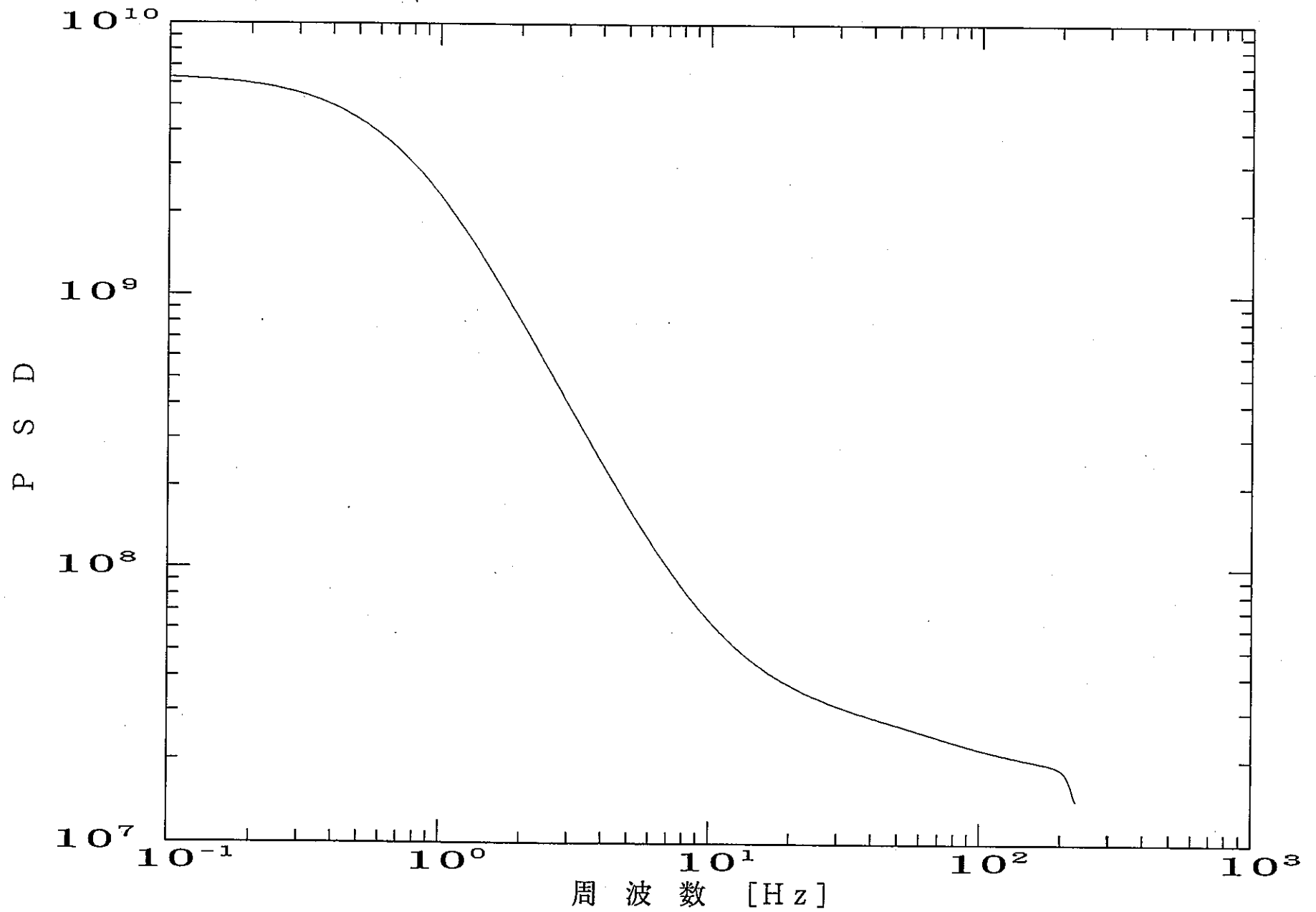


図 4-18 ARMA(3,3)パラメータより求めたP S D
 (IDコード : 014 , アドレス : +04330 , LPF : 200Hz 6次
 サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz)

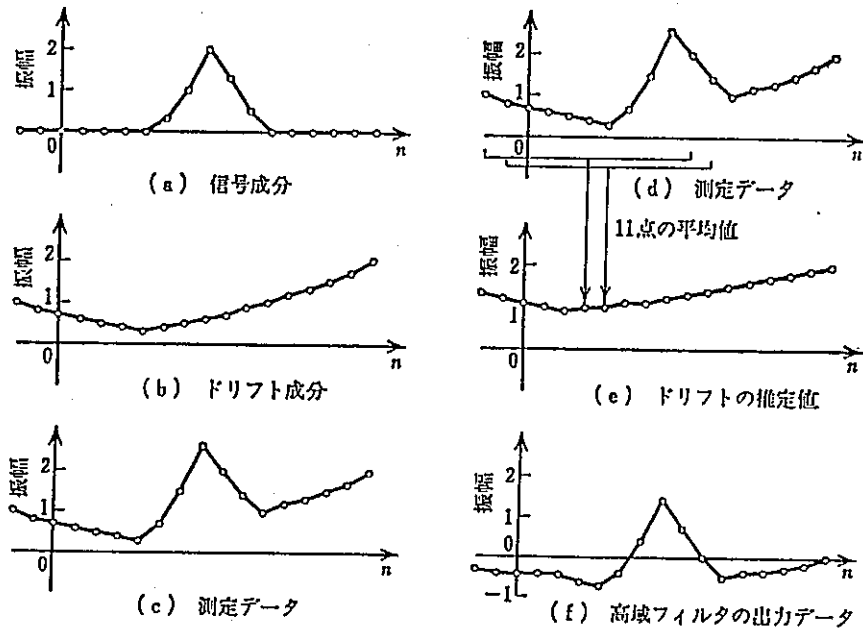


図 4-19 ドリフト雑音除去の特性

P S D by Direct FFT Method

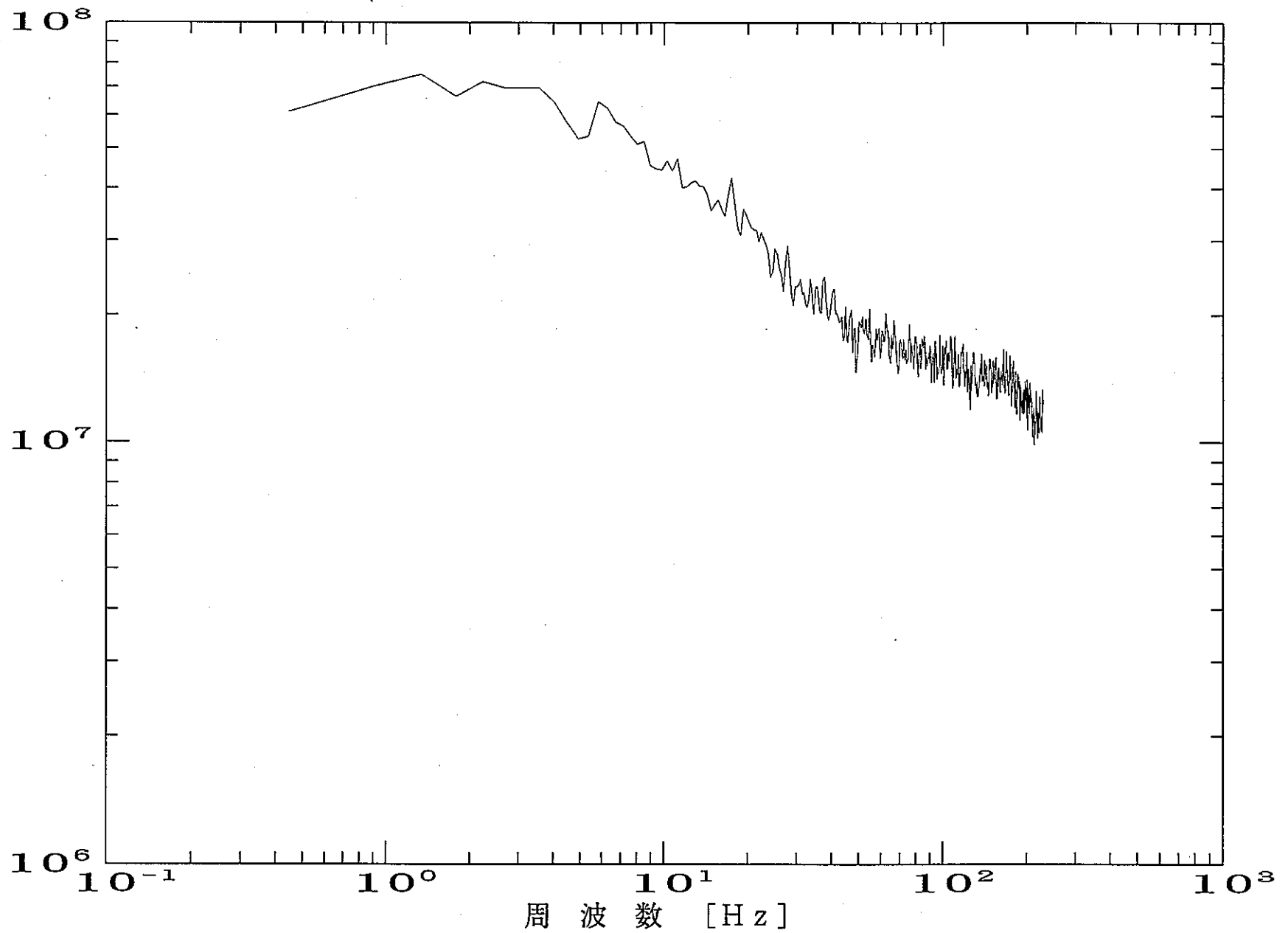


図 4-20 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 014 , アドレス : +04330 , LPF : 200Hz 6次
 サンプル周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有)

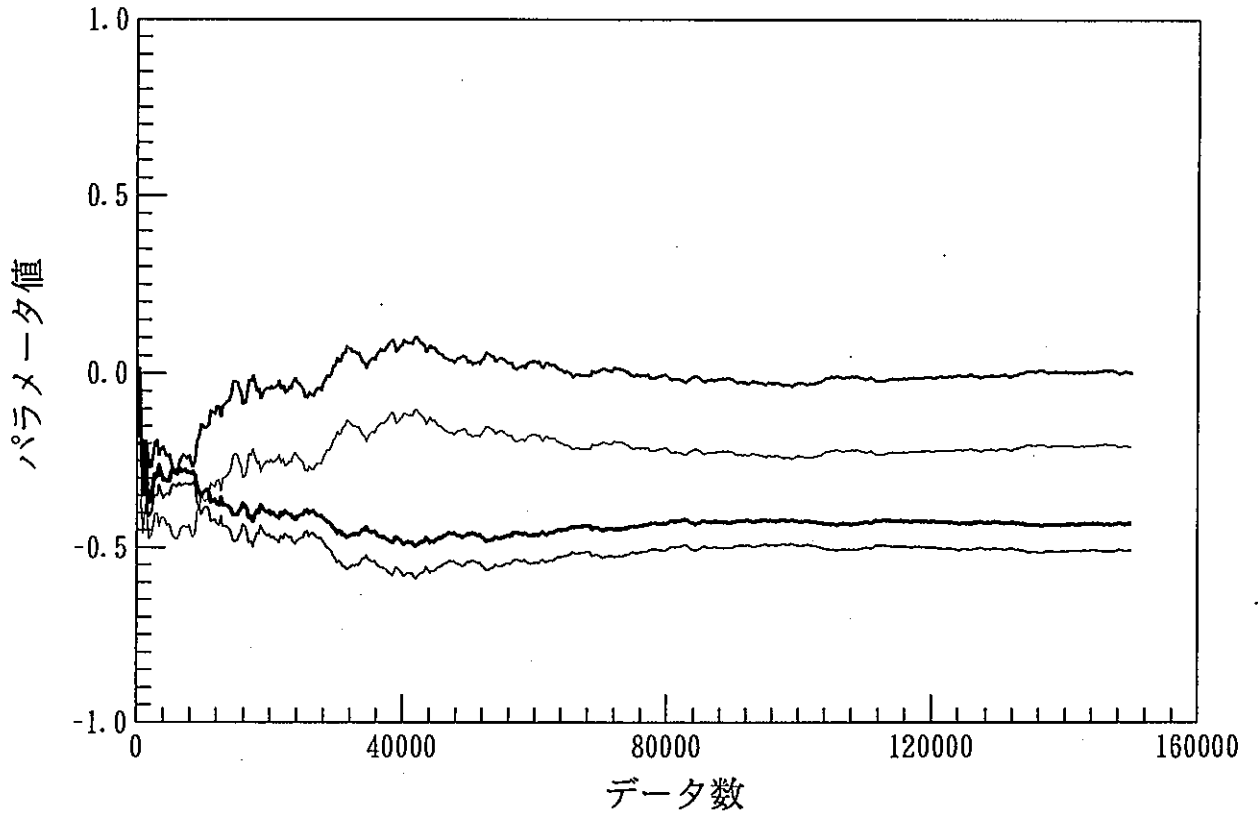


図 4-21 ELS法 (ARMA(2,2)) による推定
 (IDコード : 014 , アドレス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サンプル周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次)

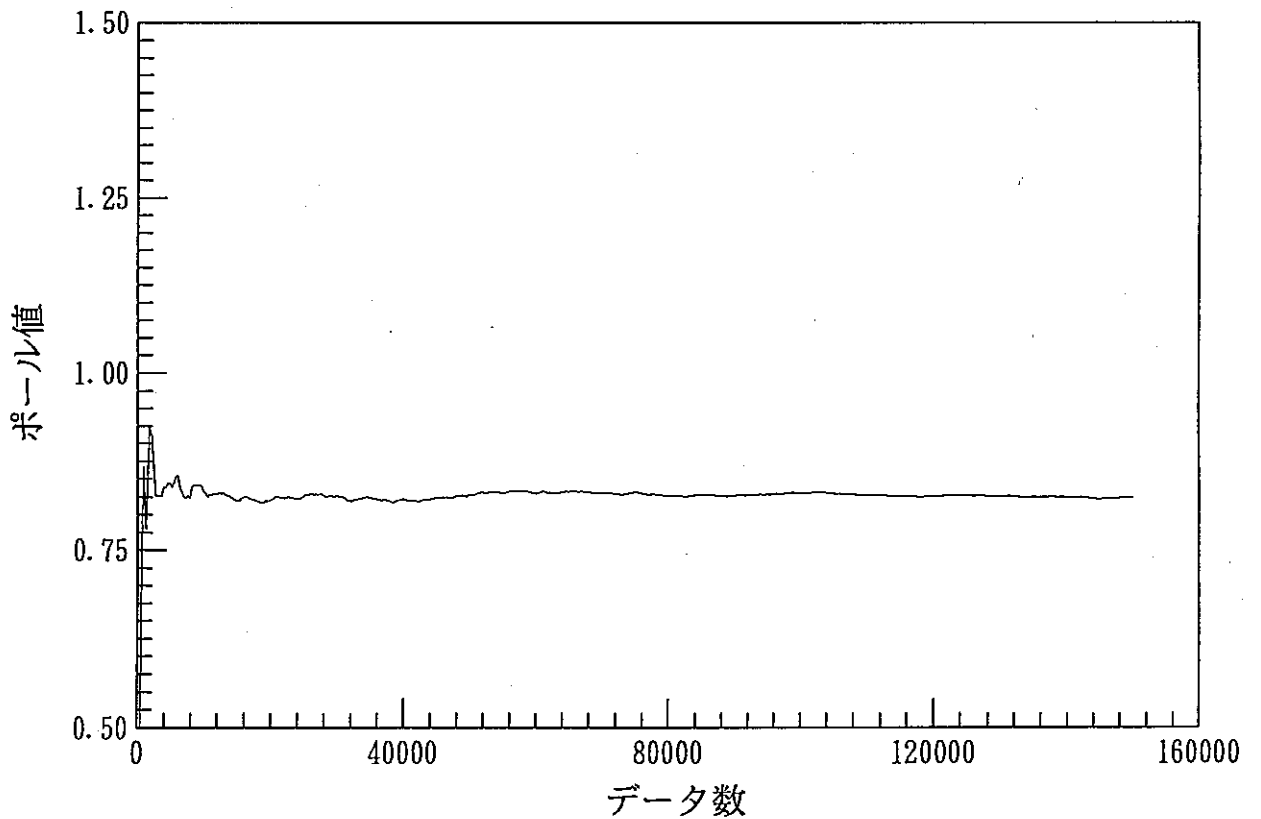


図 4-22 ELS法 (ARMA(2,2)) による推定
 (IDコード : 014 , アドレス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サンプル周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次)

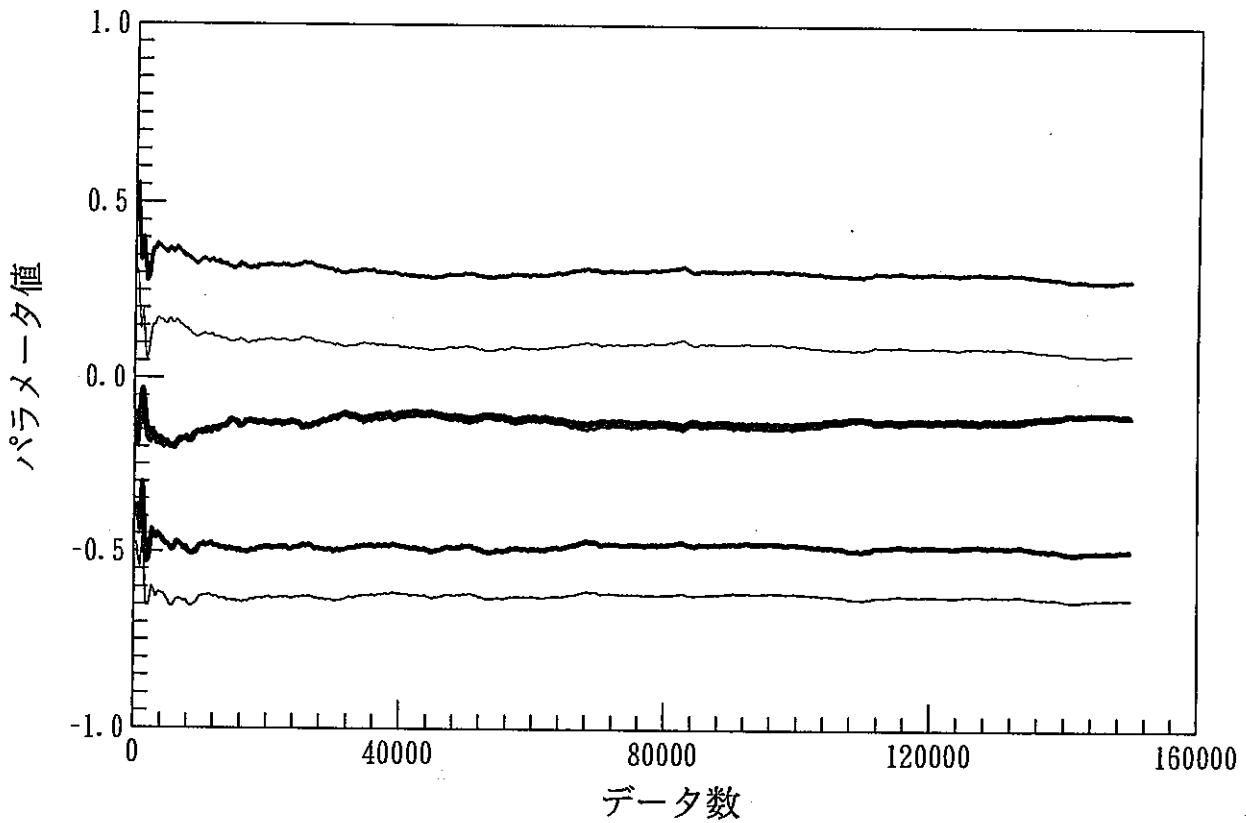


図 4-23 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 014 , フォルス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サプリック周波数:457.1428571 Hz , LPF: 200Hz 6次)

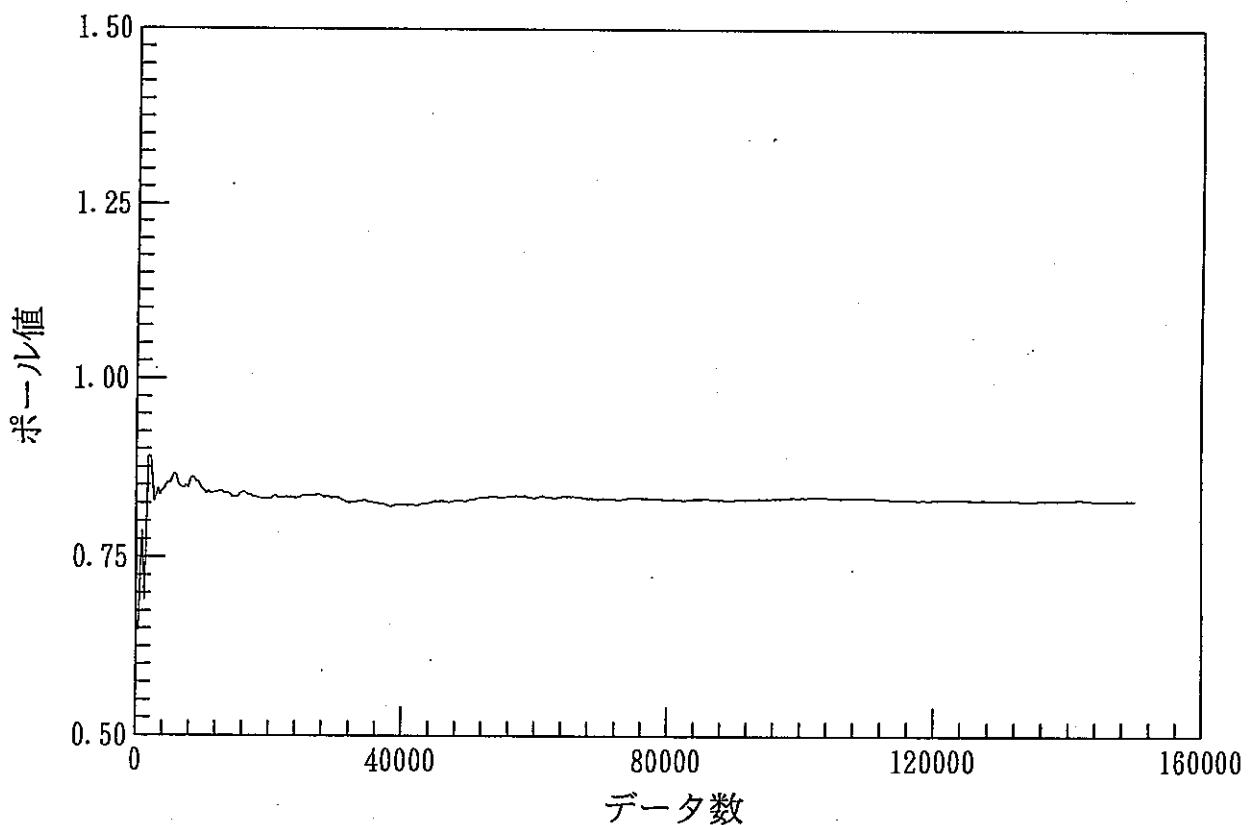


図 4-24 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 014 , フォルス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サプリック周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200 Hz 6次)

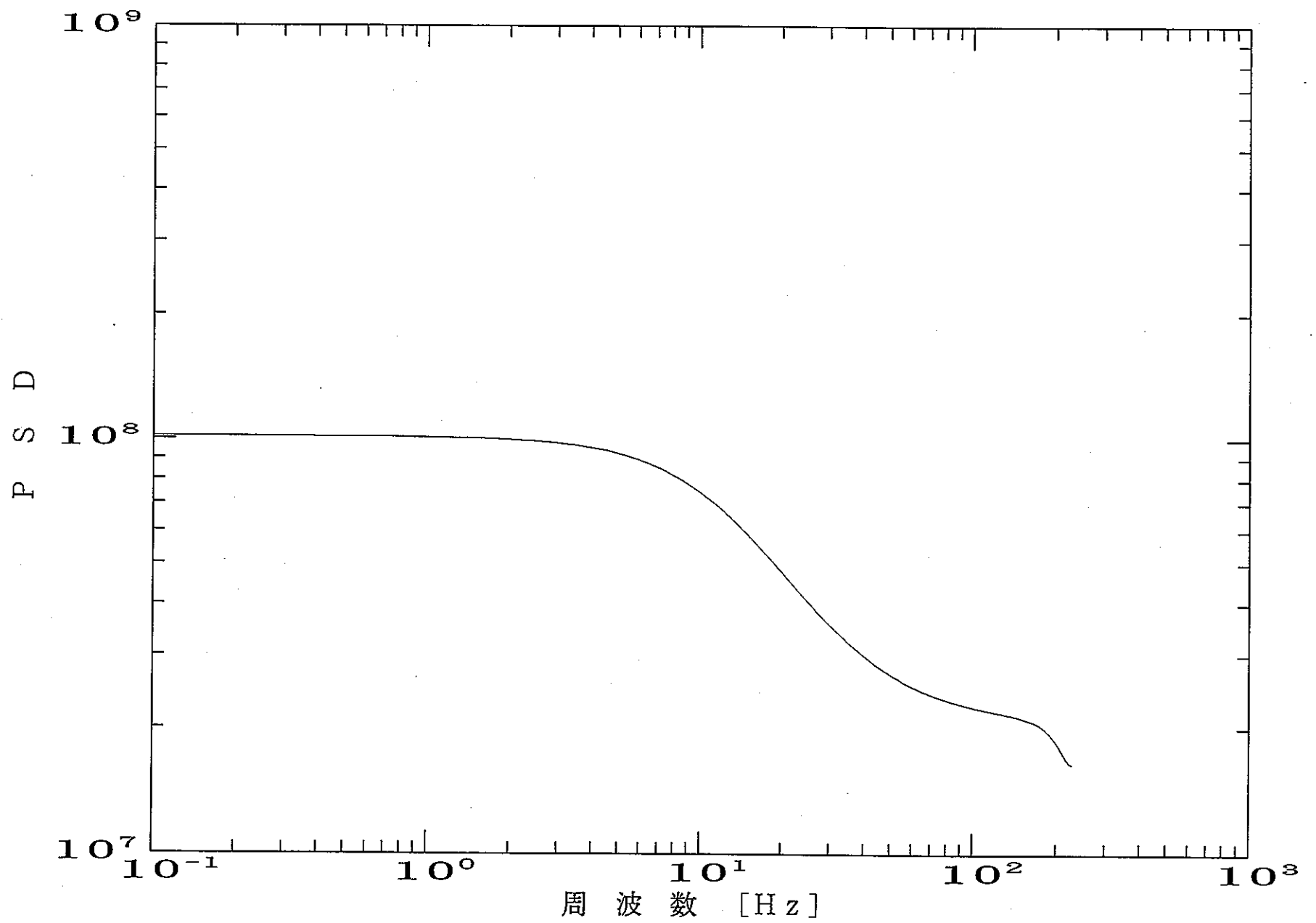


図 4-25 ARMA(2,2)パラメータより求めたP S D
(IDコード : 014 ,アドレス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次)

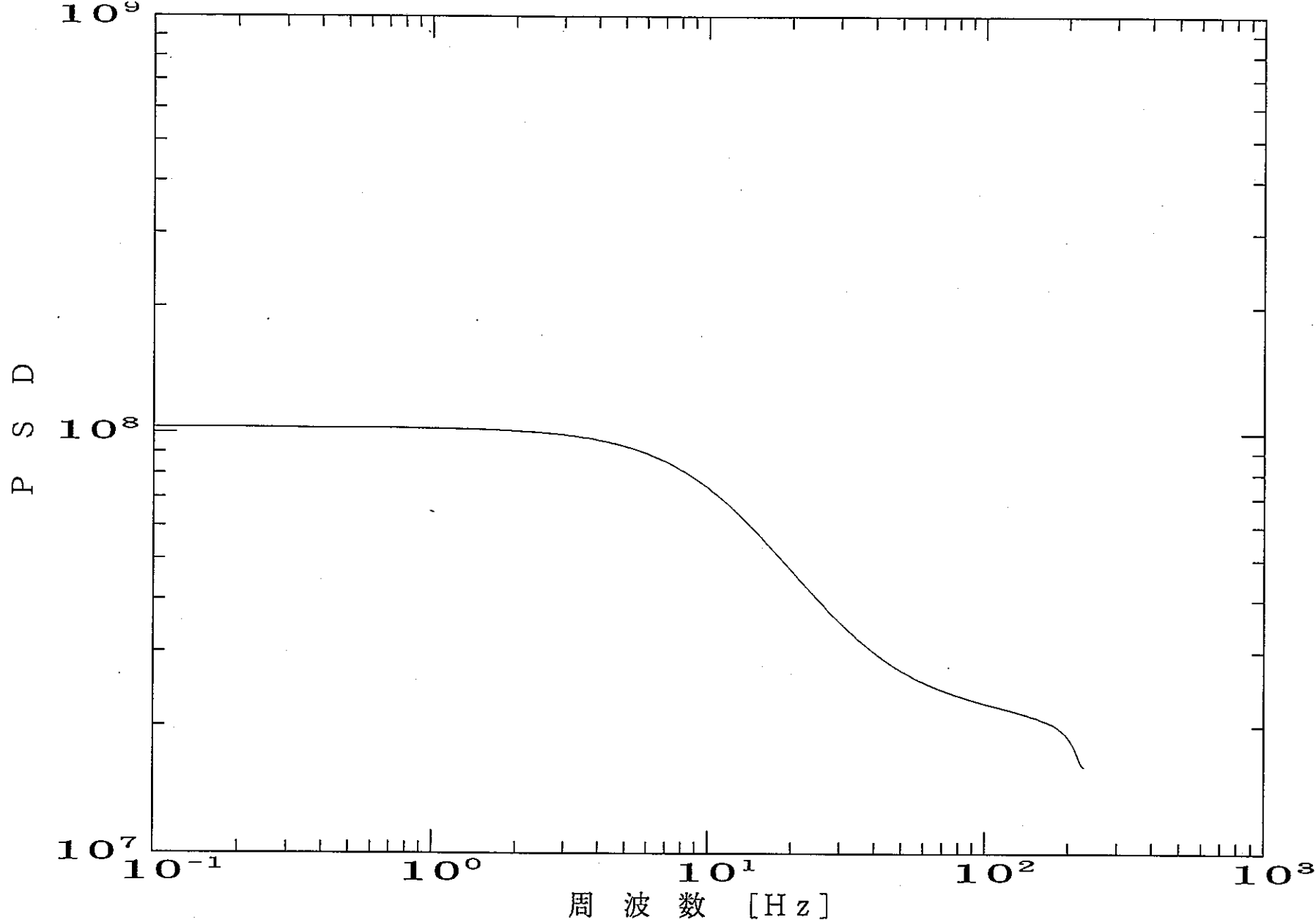


図 4-26 ARMA(3,3)パラメータより求めたP S D
(IDコード : 014 , アドレス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
サンプリング周波数:457.1428571Hz , LPF : 200Hz 6次)

表 4 - 6 H P F の設計仕様

フィルタ形式	I I R (Infinite Impulse Responce)
フィルタタイプ	H P F (低域通過)
振幅特性	B u t t e r w o r t h
サンプリング周波数	4 5 7 . 1 4 2 8 5 7 1 [H z]
第一カットオフ周波数	0 . 2 0 [H z]
第一阻止域エッジ周波数	0 . 1 0 [H z]
通過域減衰量	3 [d B]
阻止域減衰量	2 0 [d B]
フィルタ次数	4

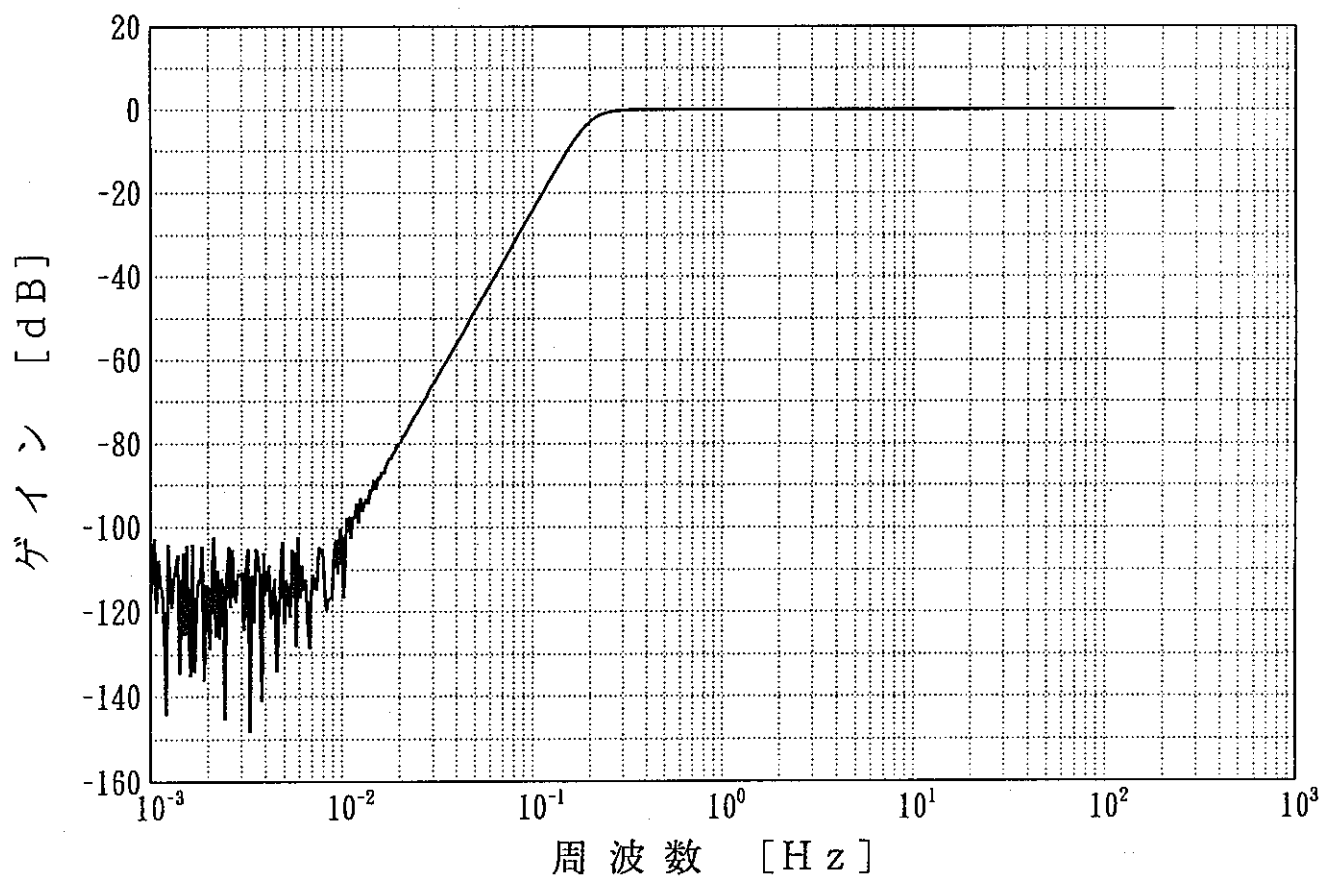


図 4 - 2 7 High Pass filter 特性
 (Sampling frequency = 457.1428571 Hz ,
 Cut off frequency = 0.20 Hz)

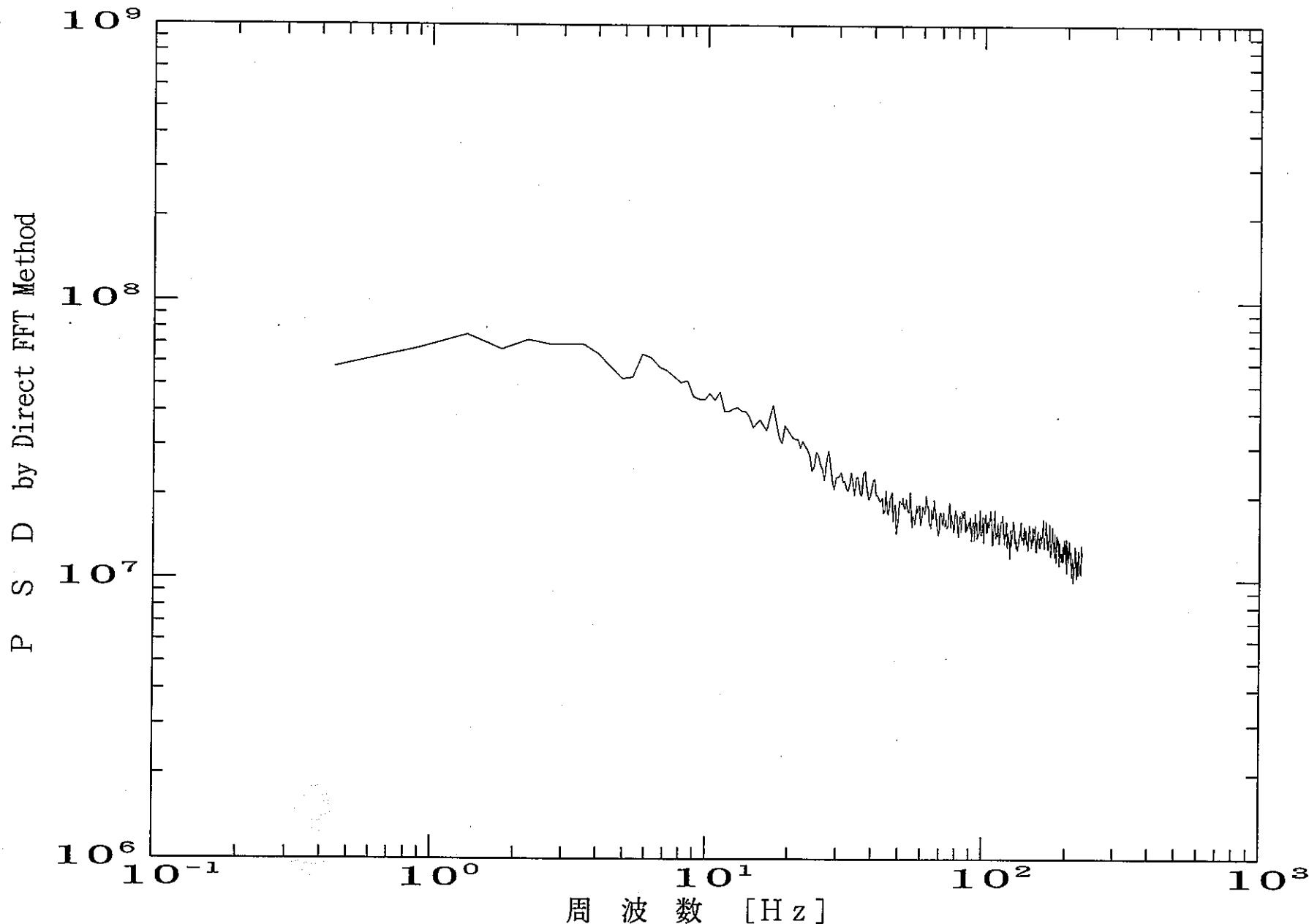


図 4-28 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 014 , フォルス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

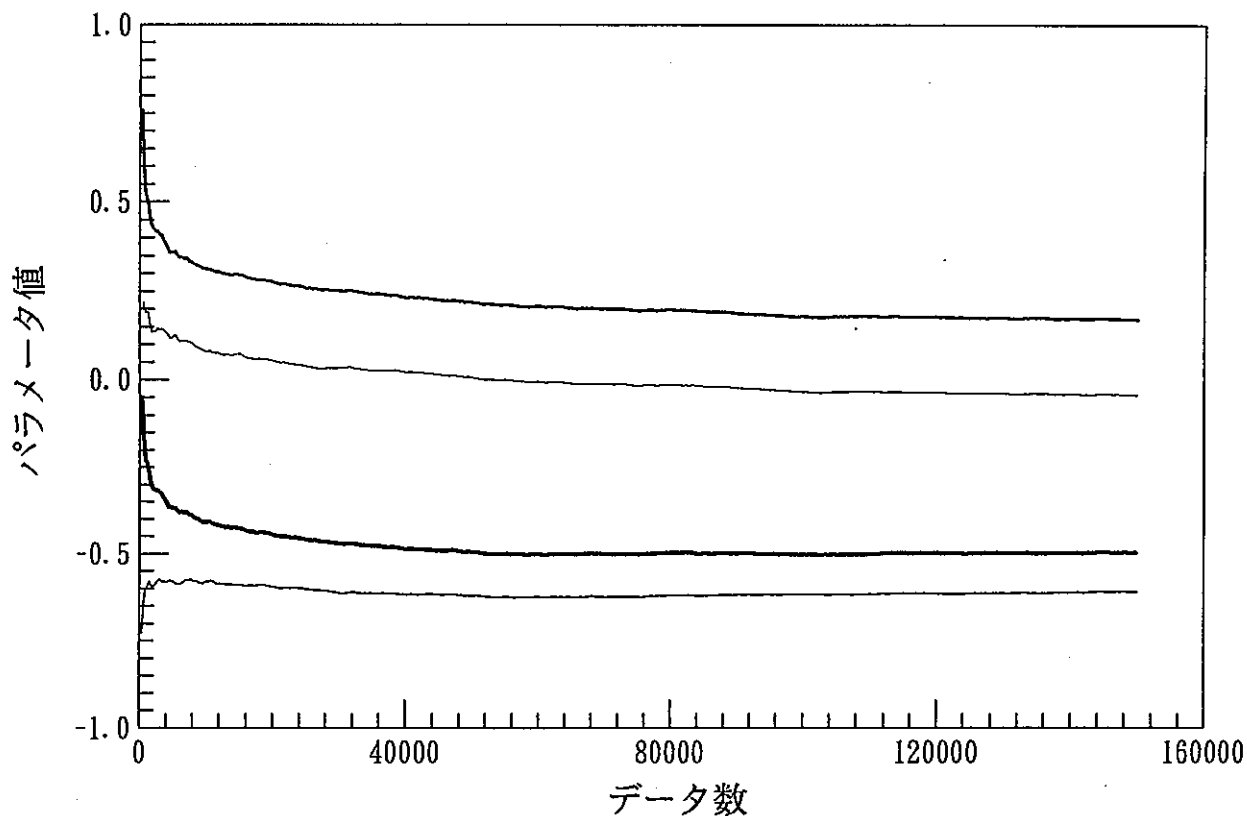


図 4-29 ELS法 (ARMA(2,2)) による推定
 (IDコード : 014 , 7トリス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サンプル周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

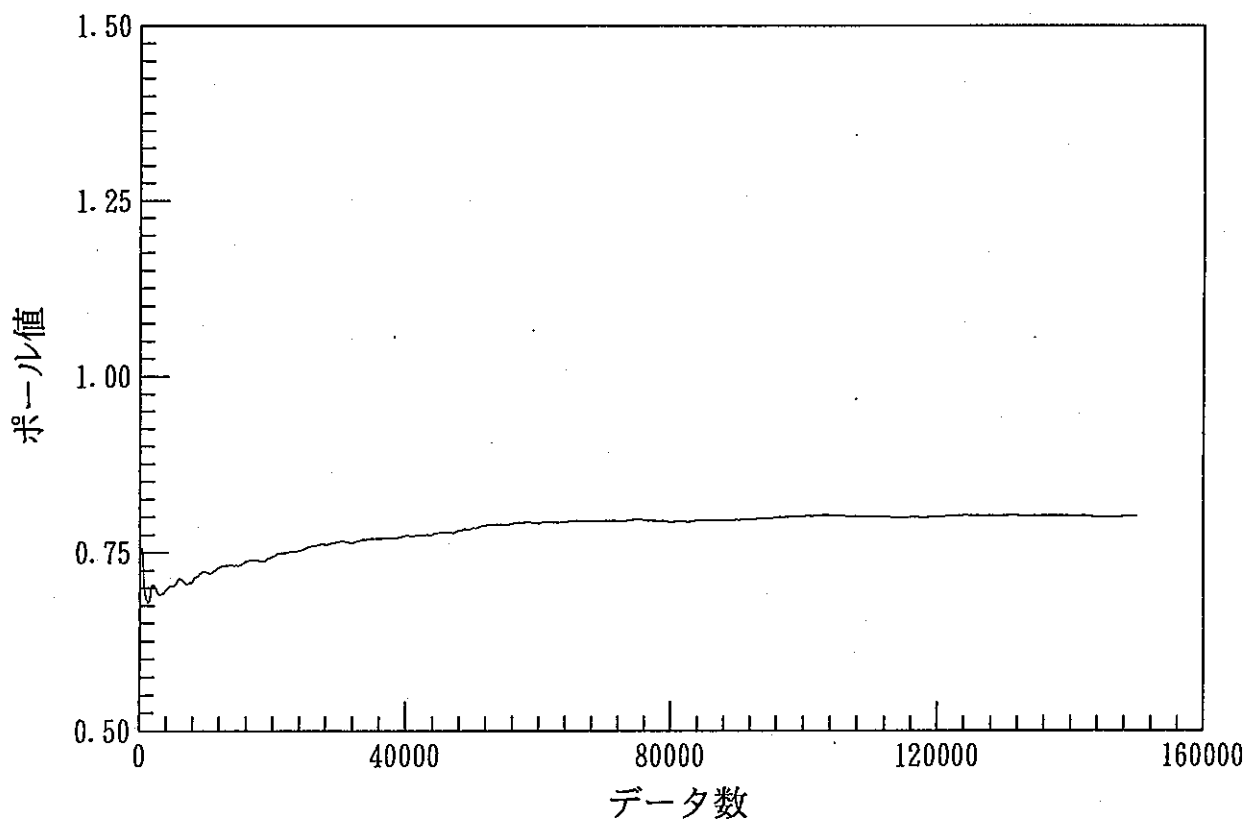


図 4-30 ELS法 (ARMA(2,2)) による推定
 (IDコード : 014 , 7トリス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サンプル周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

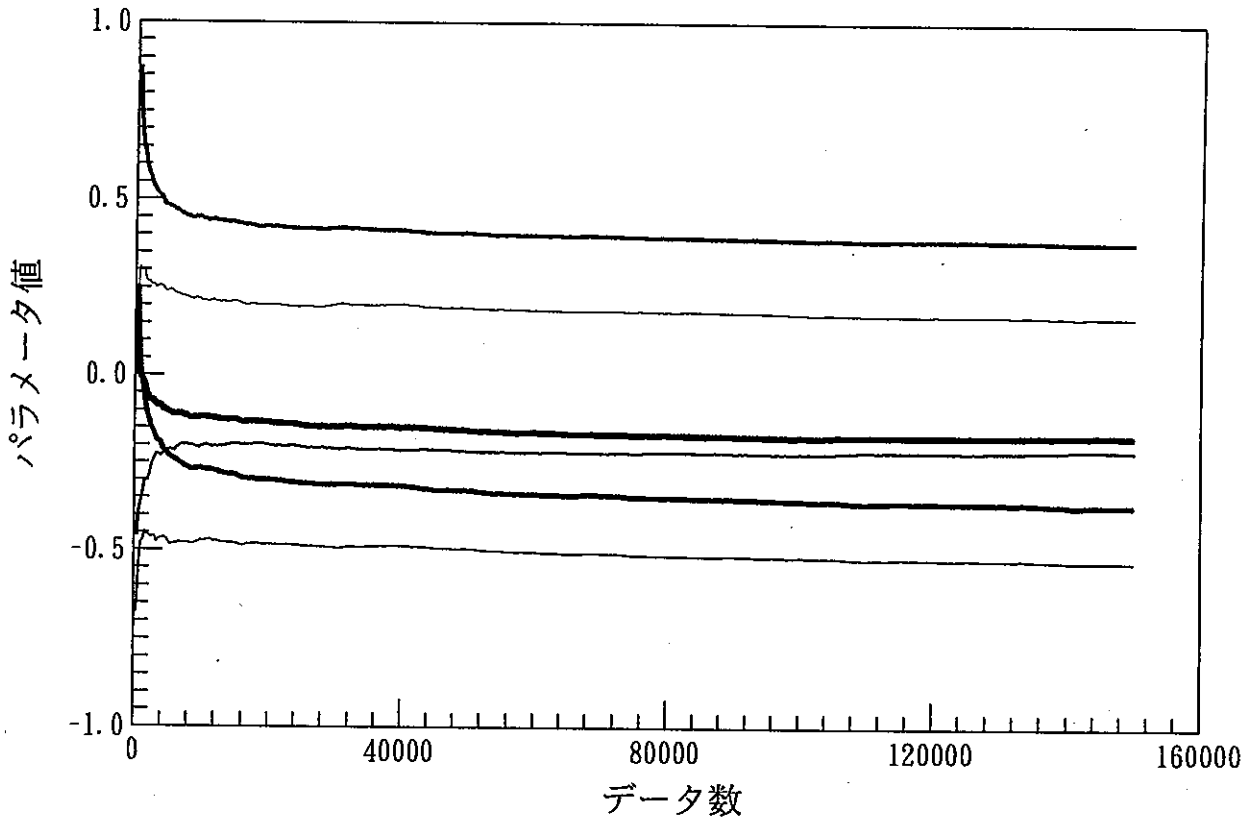


図 4-31 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 014 , フォース : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サンプリグ周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

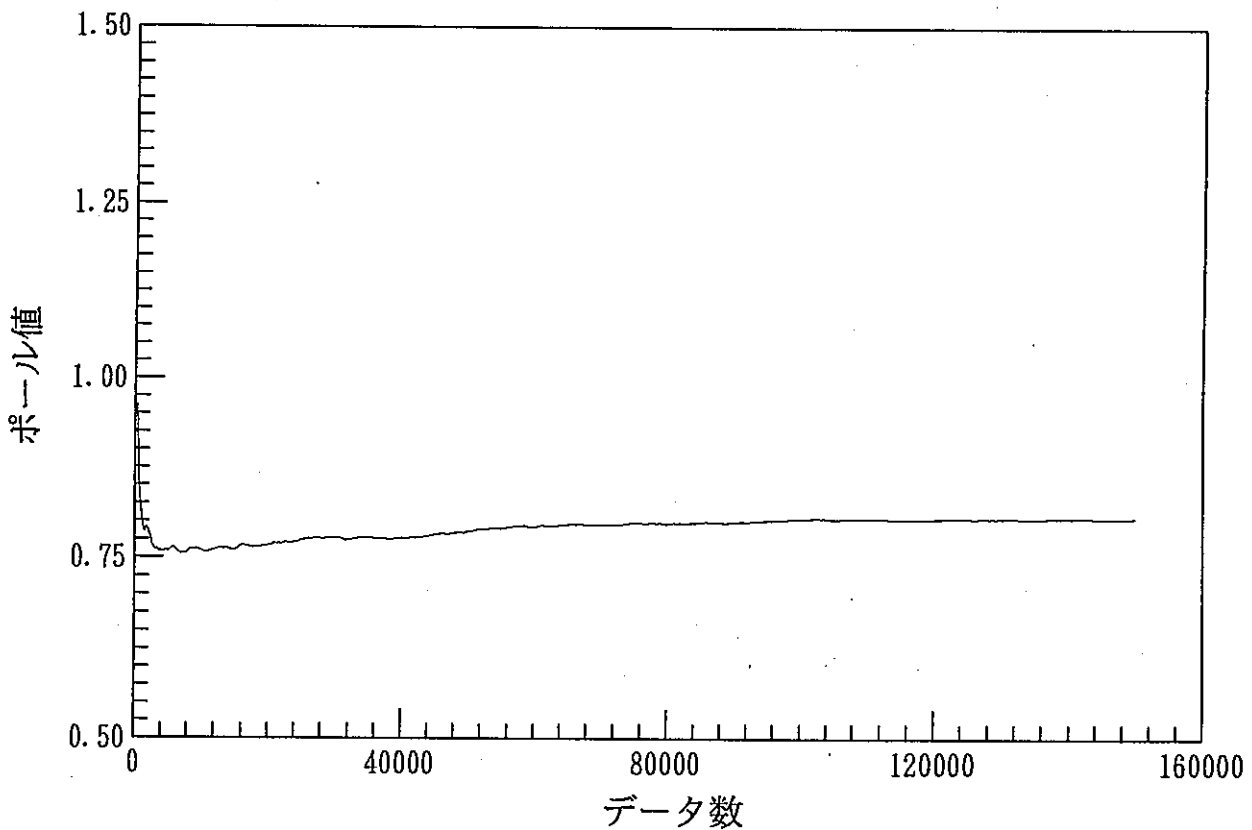


図 4-32 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 014 , フォース : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サンプリグ周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

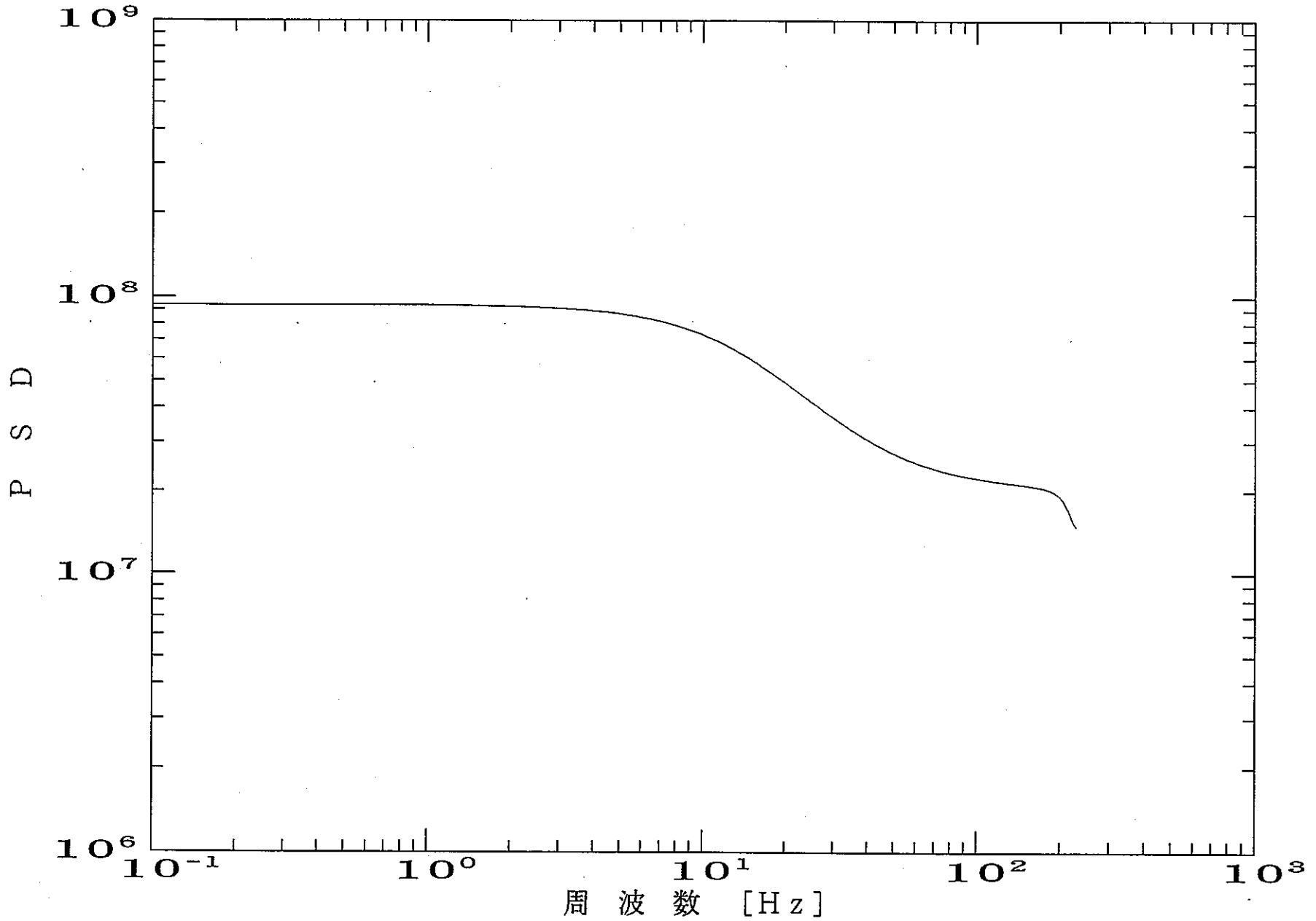


図 4-33 ARMA(2,2)パラメータより求めたP S D
 (IDコード : 014 ,アドレス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
 サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2

Hz 4次)

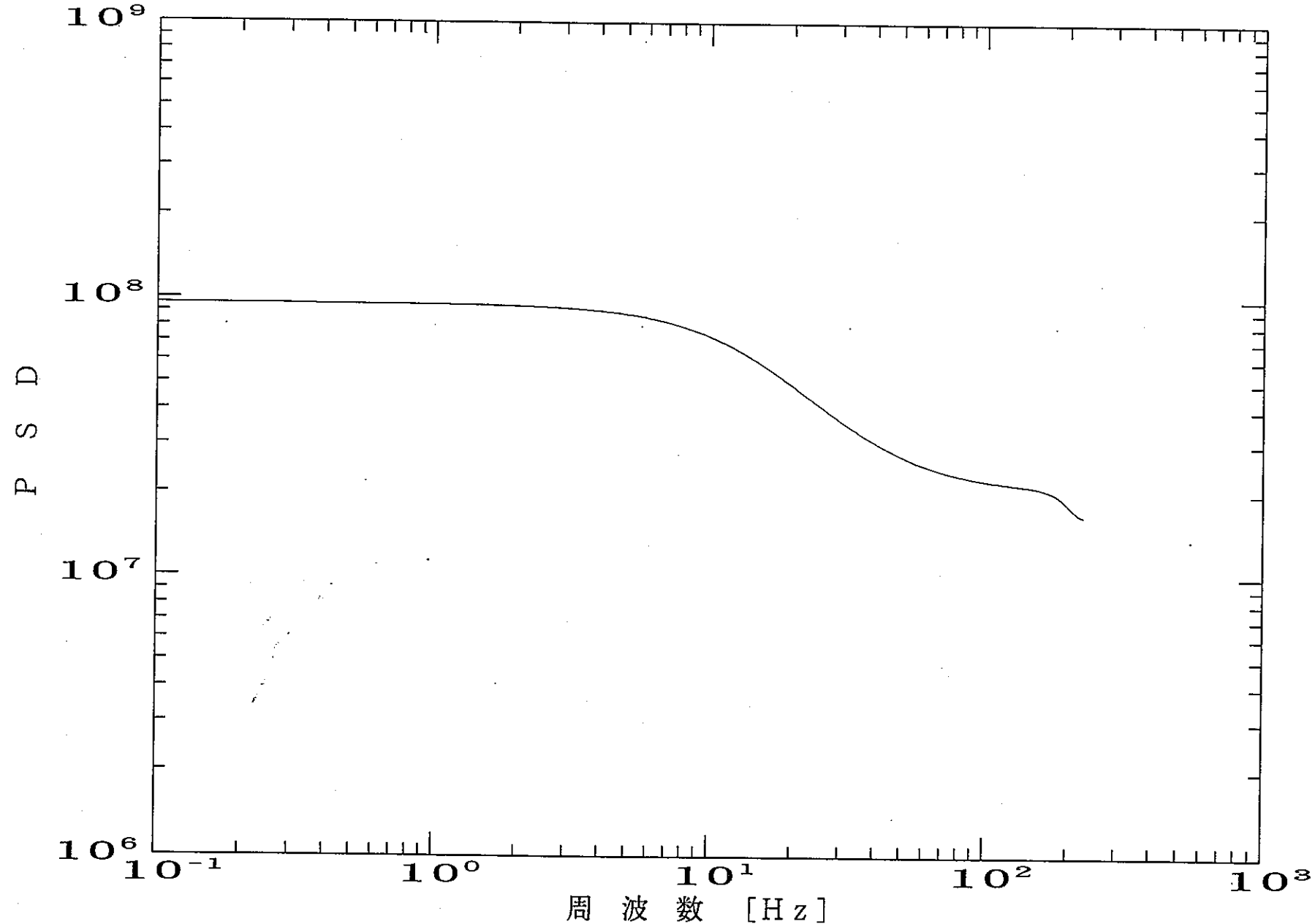


図 4-34 ARMA(3,3)パラメータより求めたP S D
(IDコード : 014 , アドレス : +04330 , 平均値除去処理 : 有 ,
サンプリング周波数 : LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

P S D by Direct FFT Method

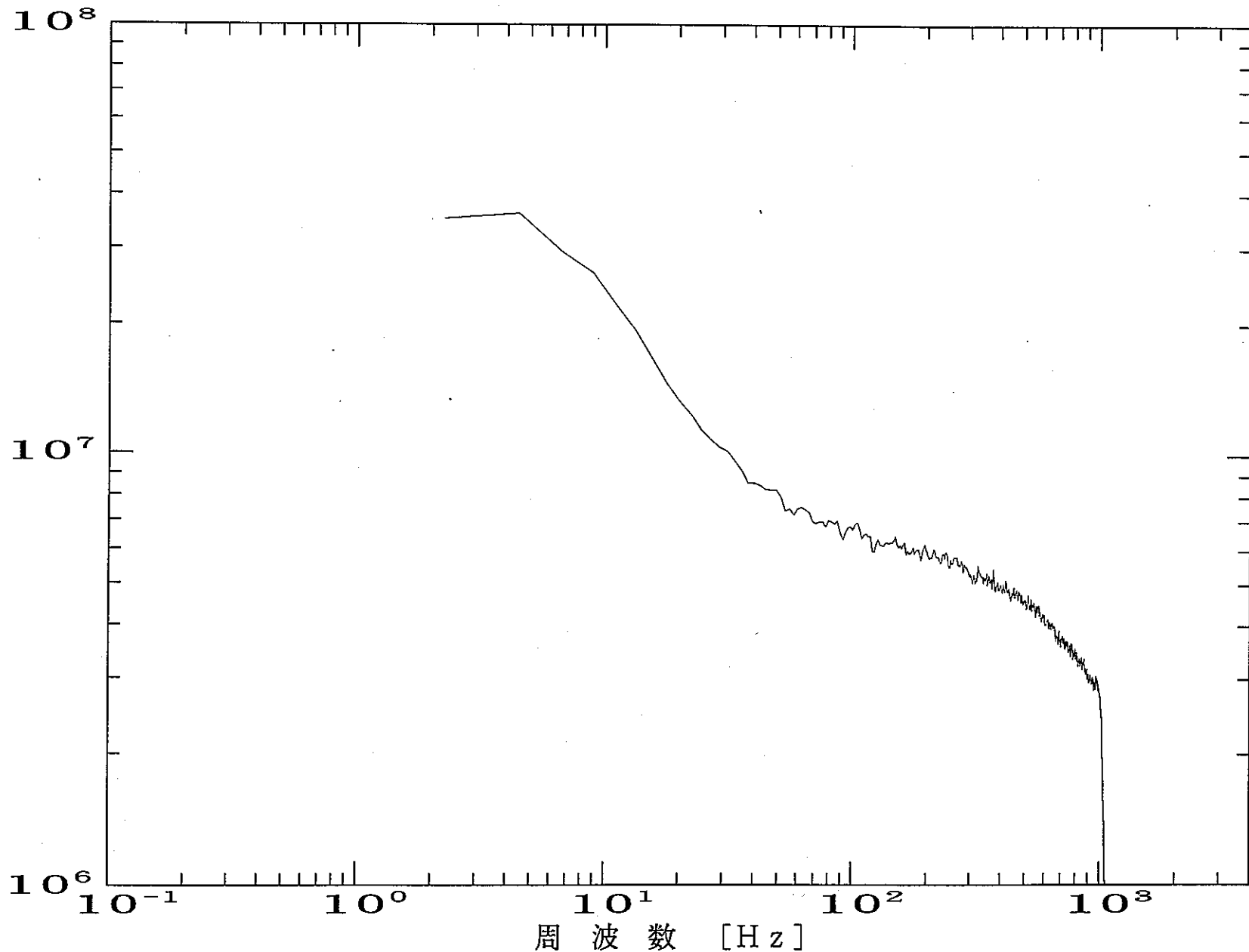


図 4-35 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 026~027 , アドレス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 2285.714286 , 平均値除去処理 , LPF , HPF : 無)

P S D by Direct FFT Method

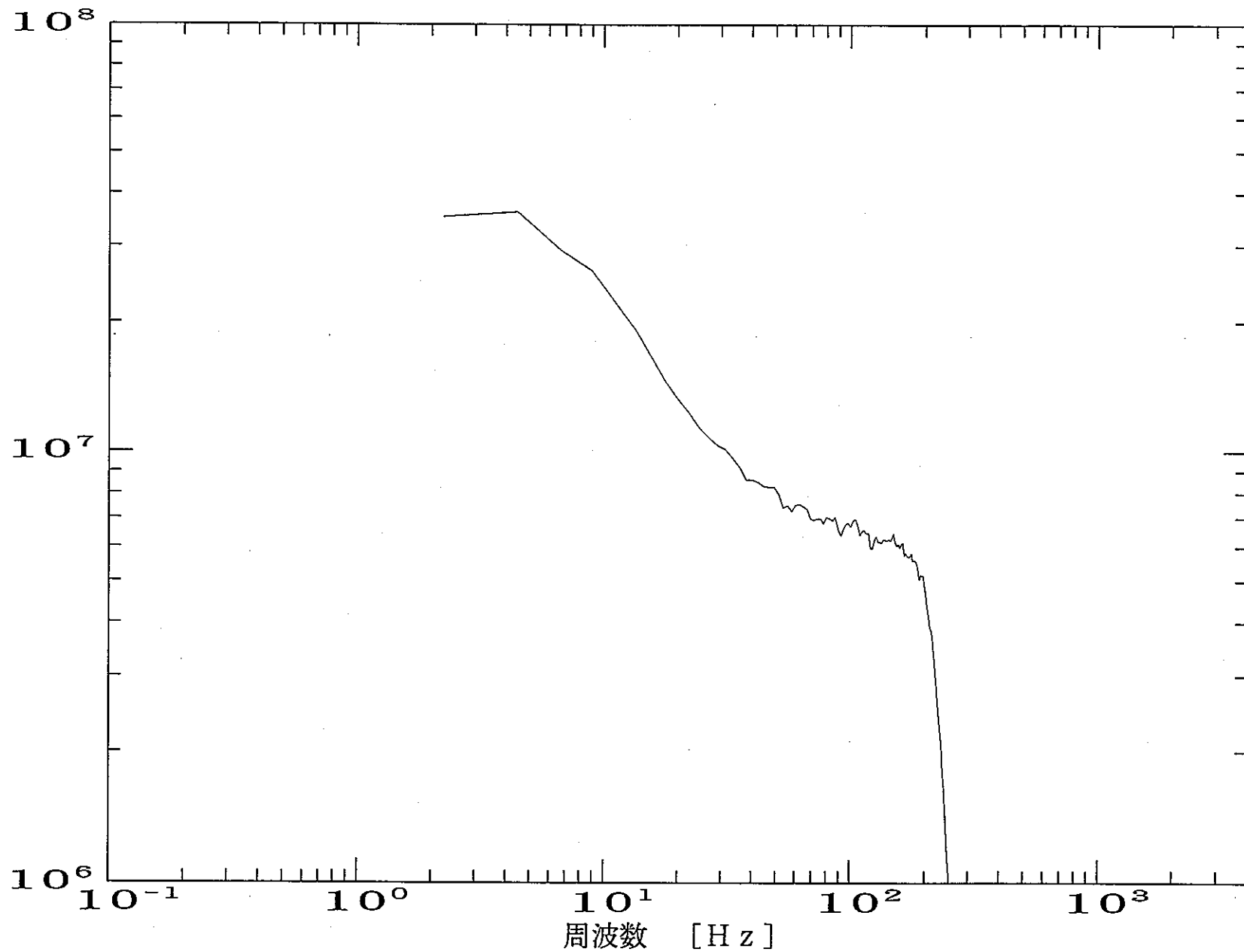


図 4-36 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 026~027 , アドレス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 2285.714286 , LPF : 200 Hz 6次 ,
平均値除去処理 HPF : 無)

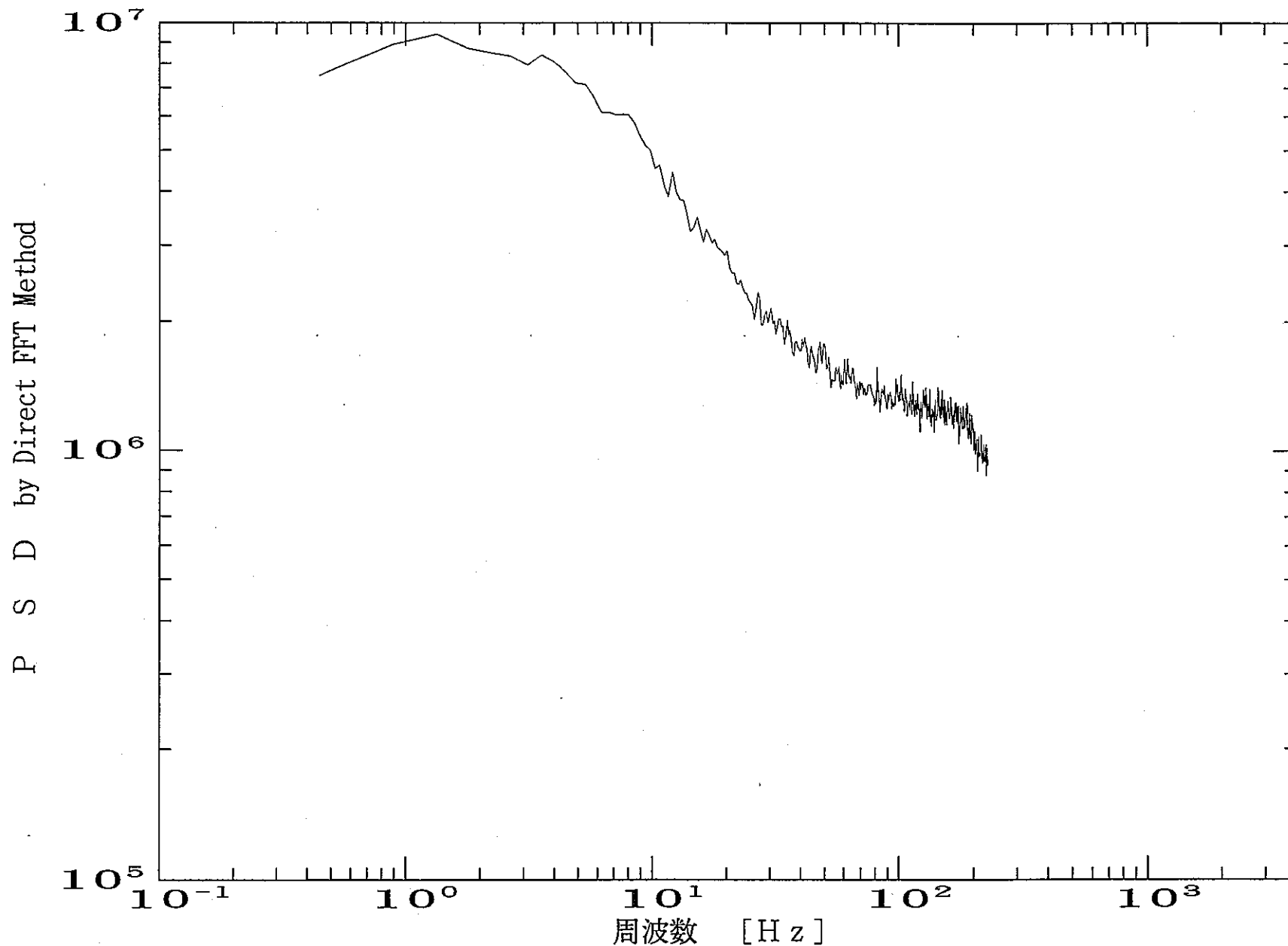


図 4-37 高速フーリエ変換(FFT)によるP S D
(IDコード : 026~027 , アドレス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200 Hz ,
平均値除去処理 HPF : 無)

P S D by Direct FFT Method

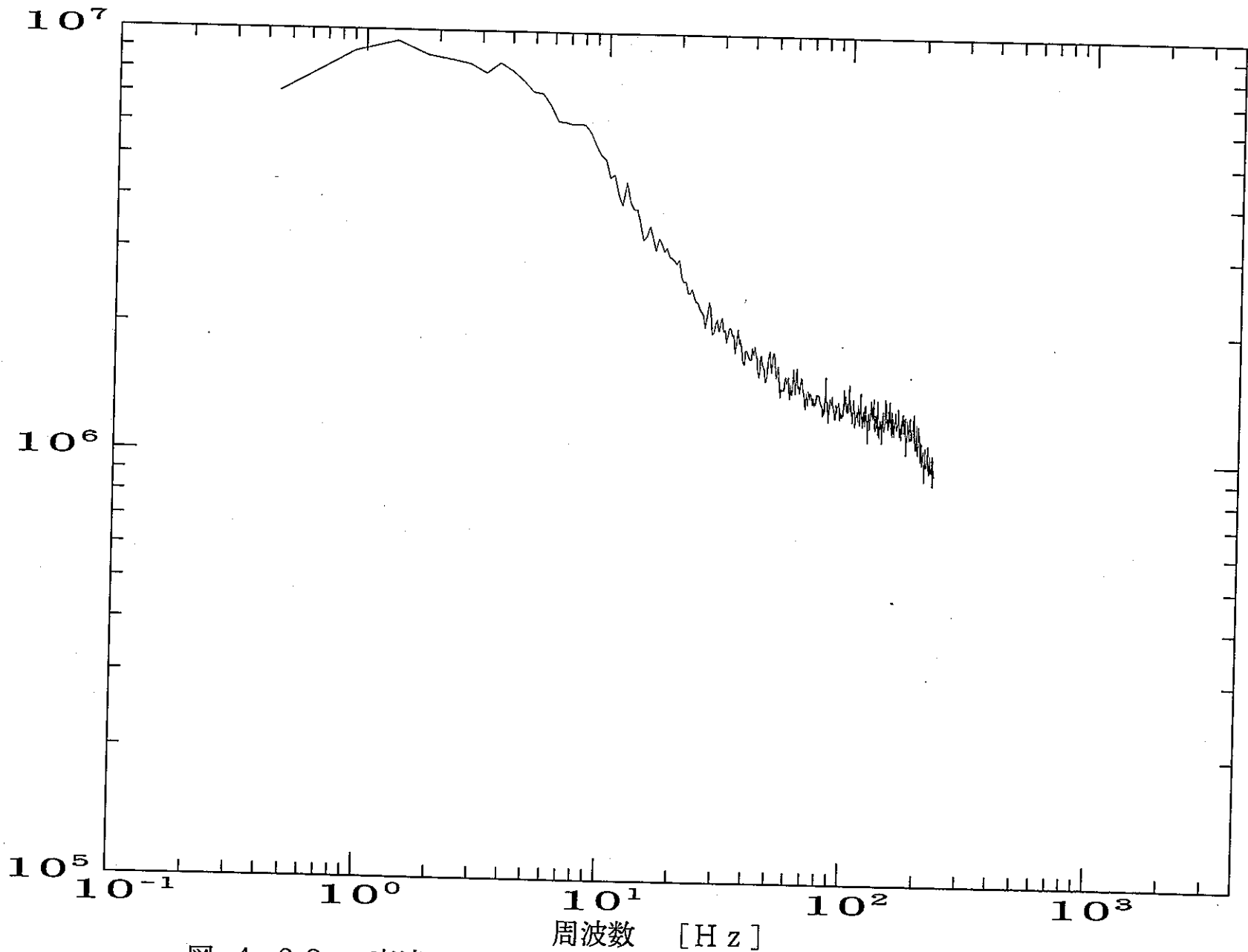


図 4-38 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 026~027 , アドレス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , LPF : 200 Hz 6次 , HPF : 0.2 Hz 4次 ,
平均値除去処理 : 無)

P S D by Direct FFT Method

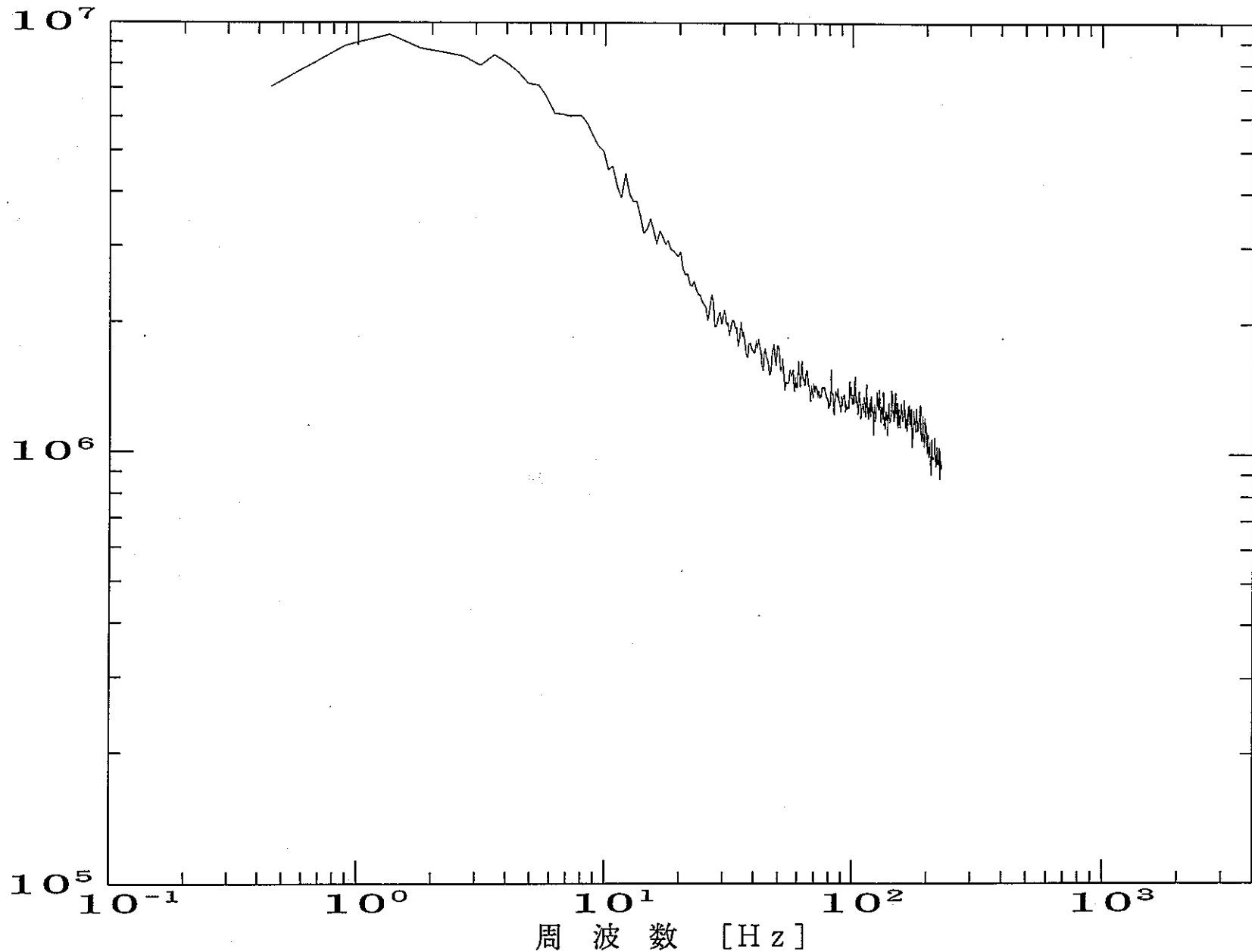


図 4-39 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 026~027 , アドレス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

P S D by Direct FFT Method

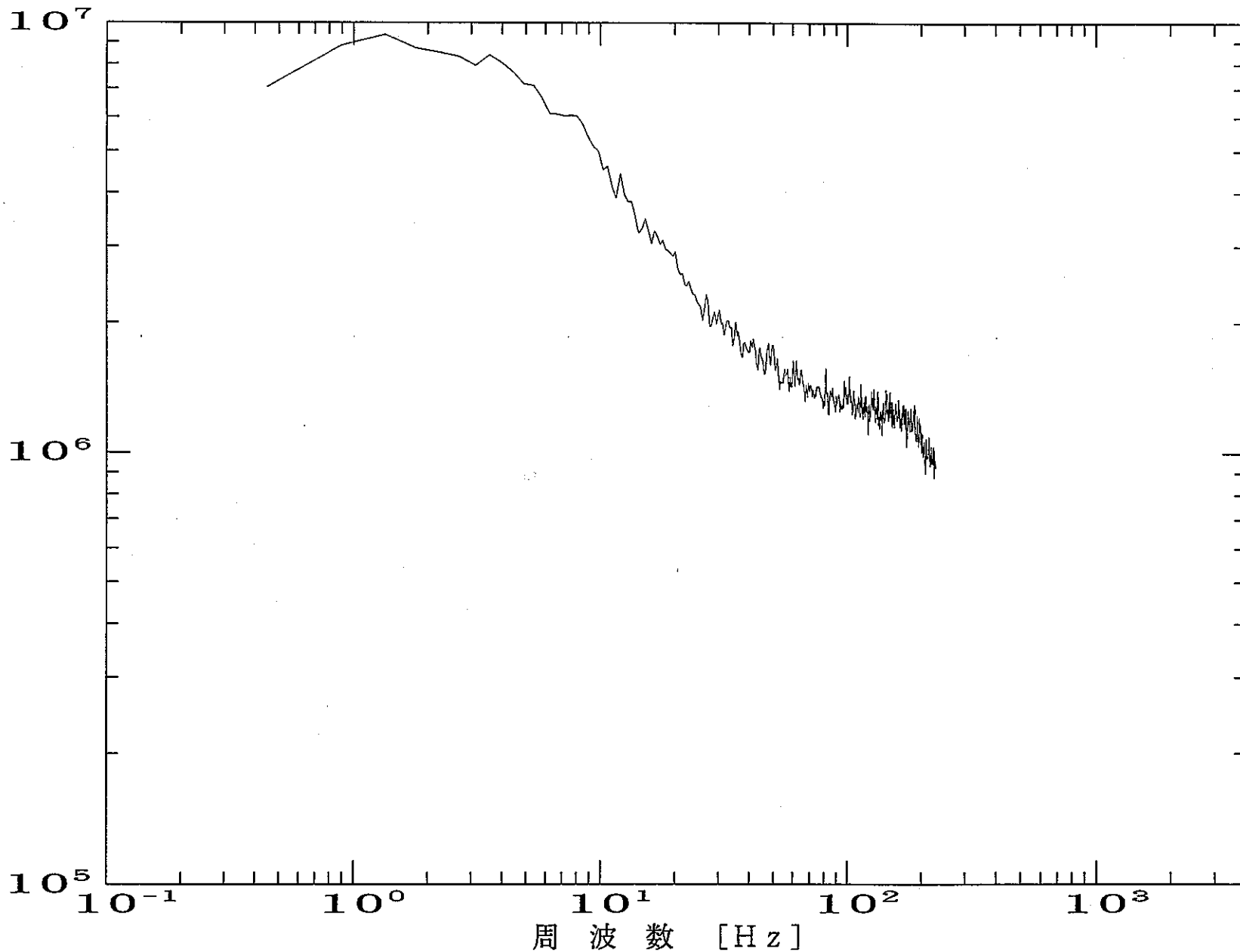


図 4-39 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 026~027 , フォリス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

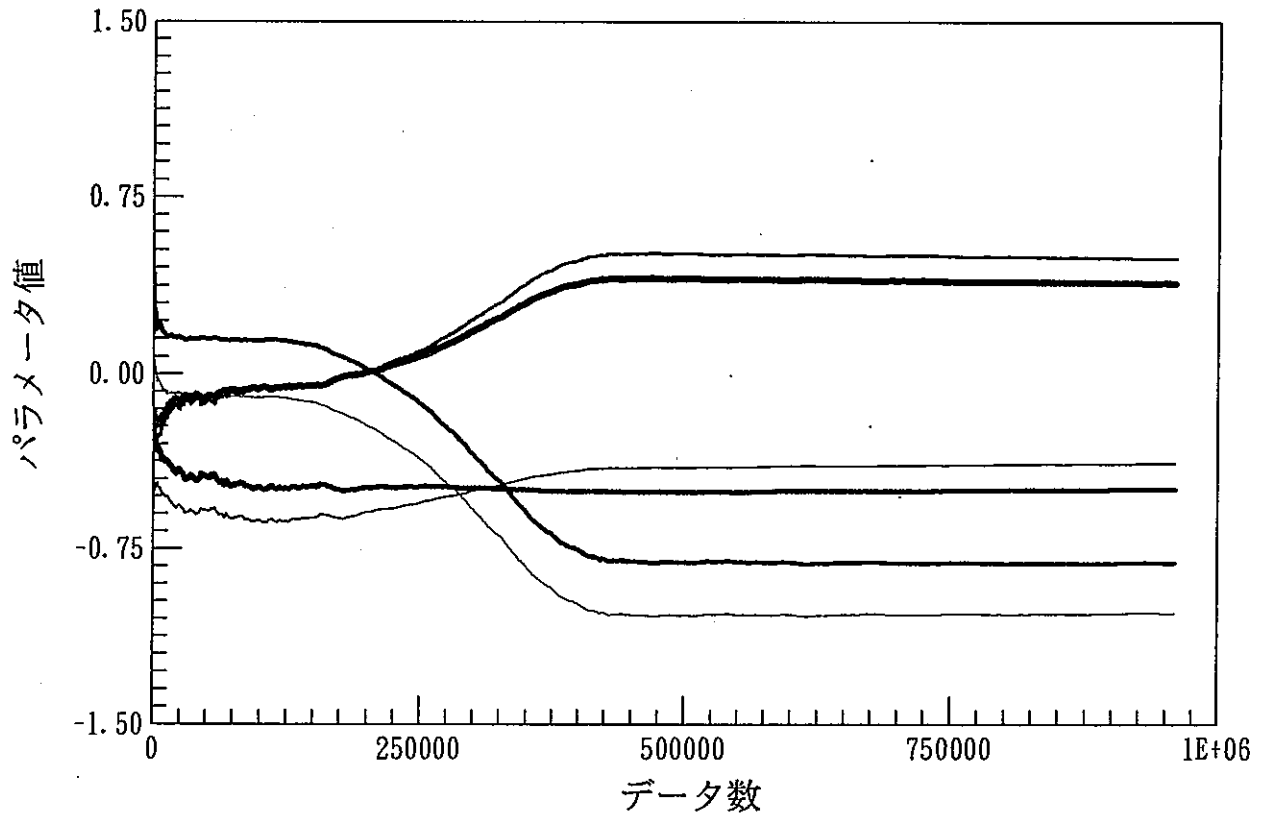


図 4-4 2 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 026~027 , フォルス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
 サブリンク周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
 LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

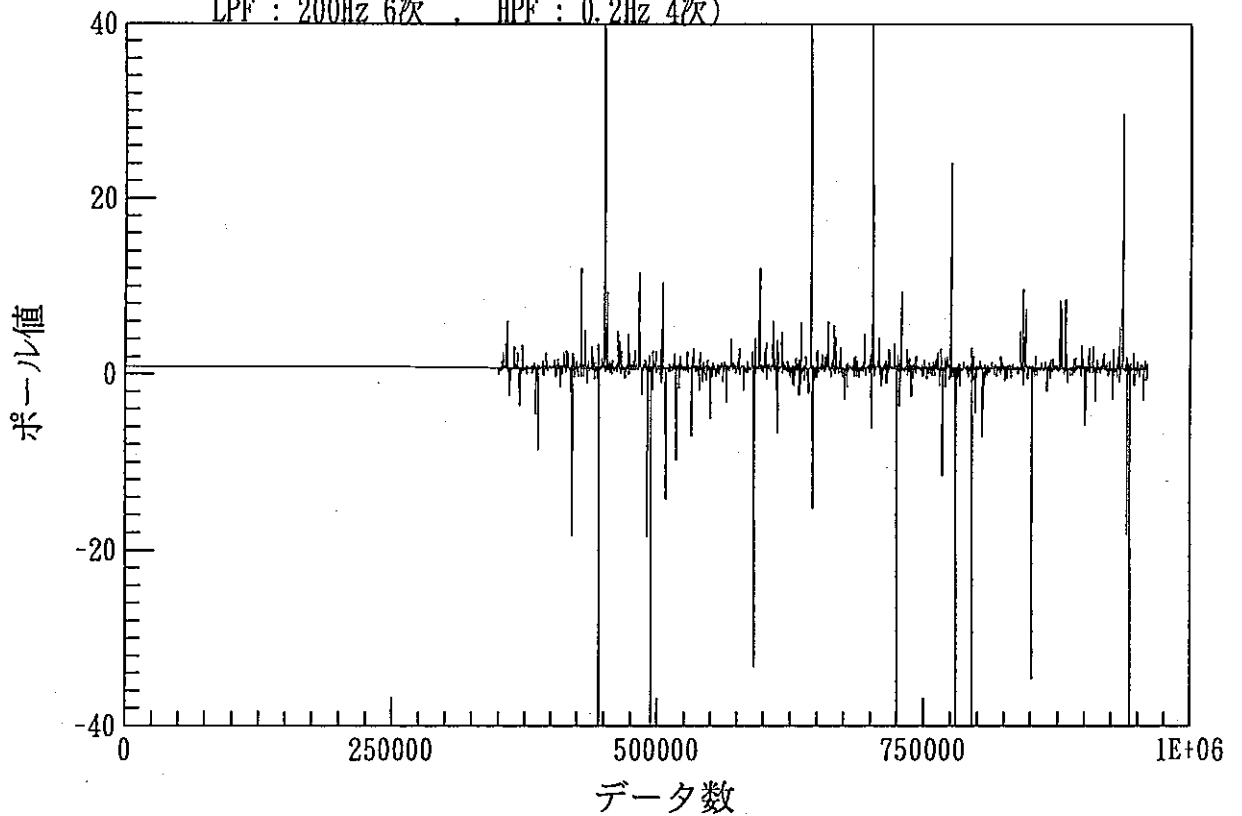


図 4-4 3 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 026~027 , フォルス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
 サブリンク周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
 LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

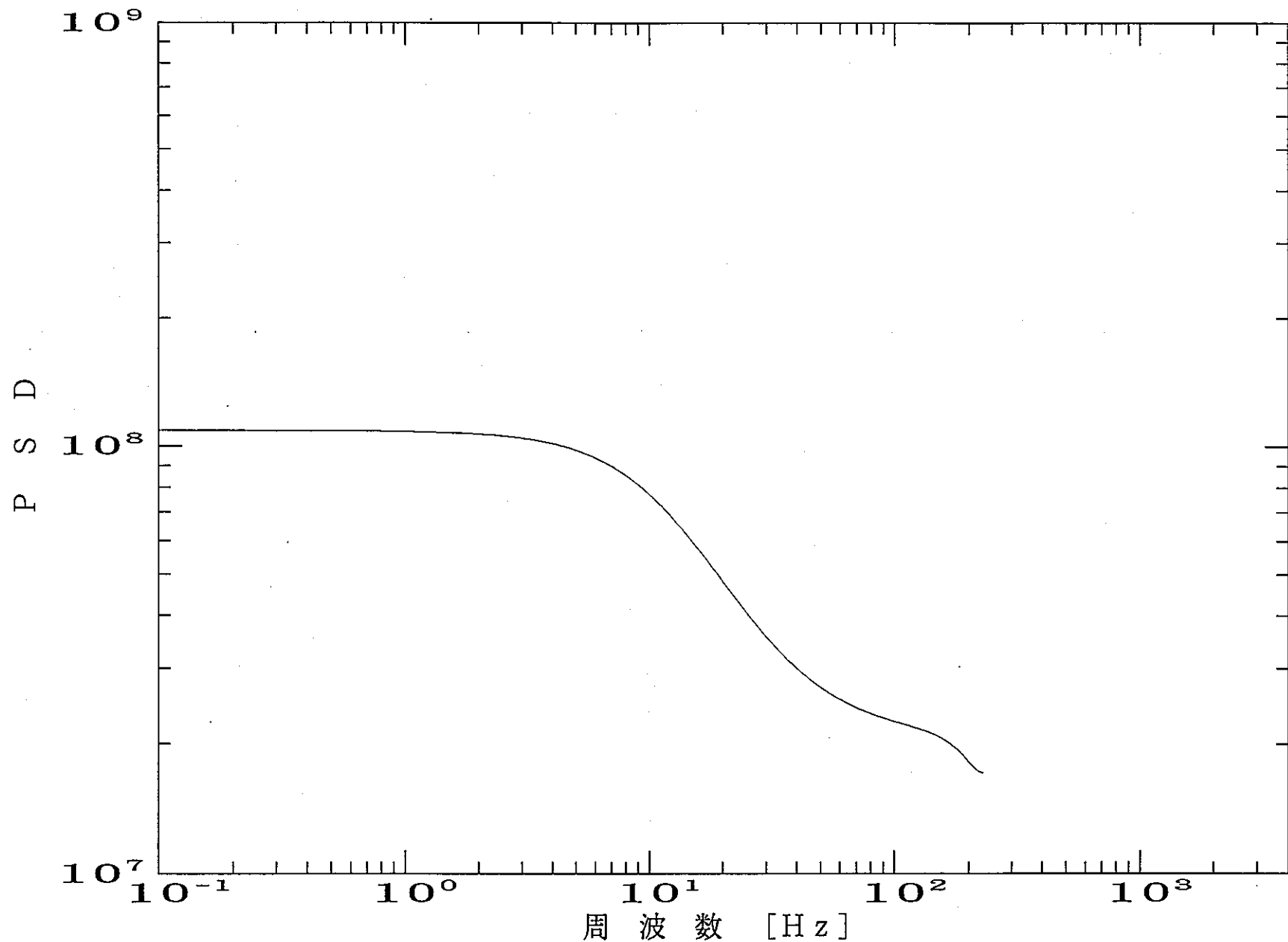


図 4-4 4 ARMA(2,2)パラメータより求めたP S D
(IDコード : 026~027 , フォリス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

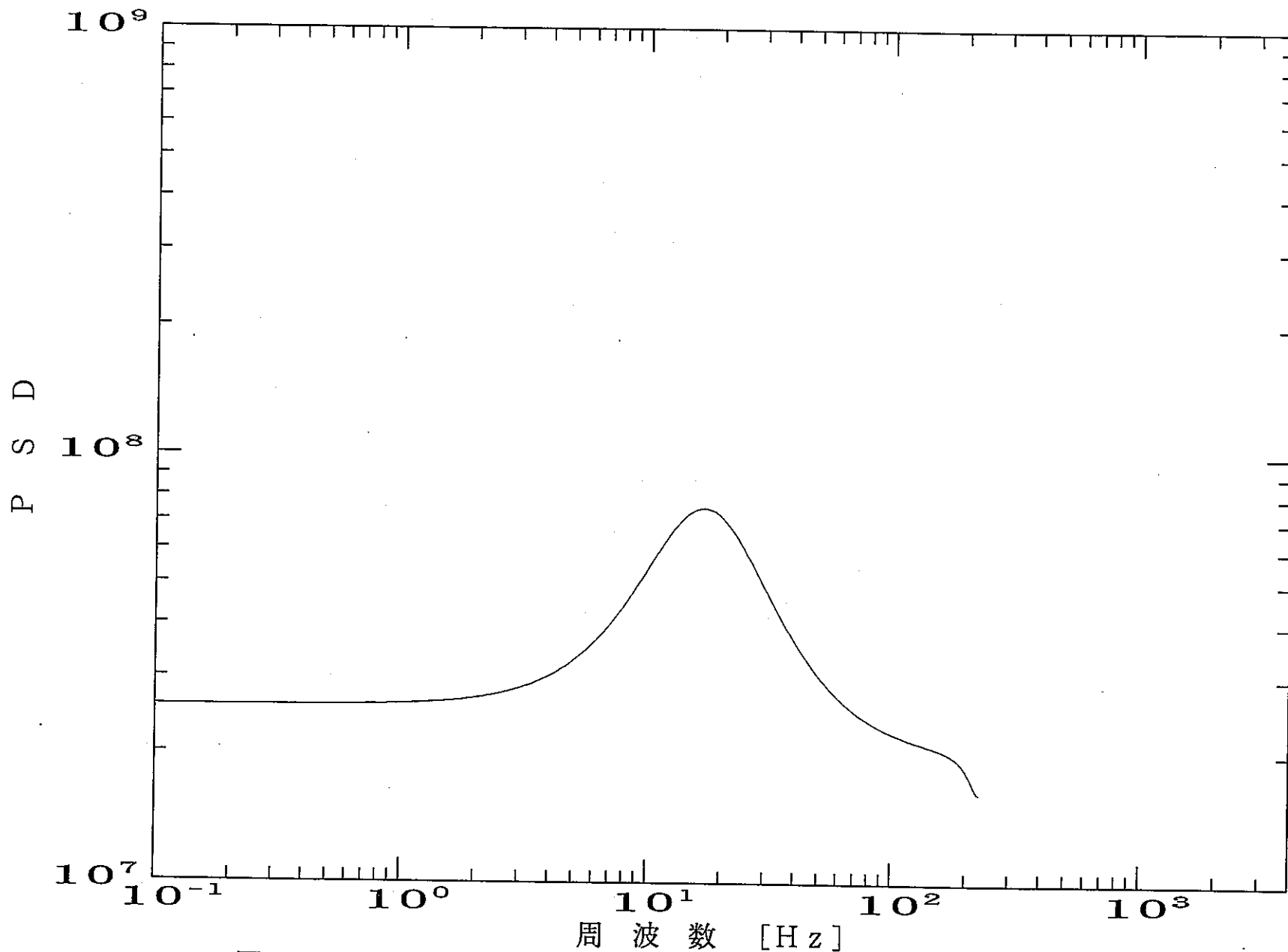


図 4-45 ARMA(3,3)パラメータより求めたP S D
(IDコード : 026~027 , アドレス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
サンプリング周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

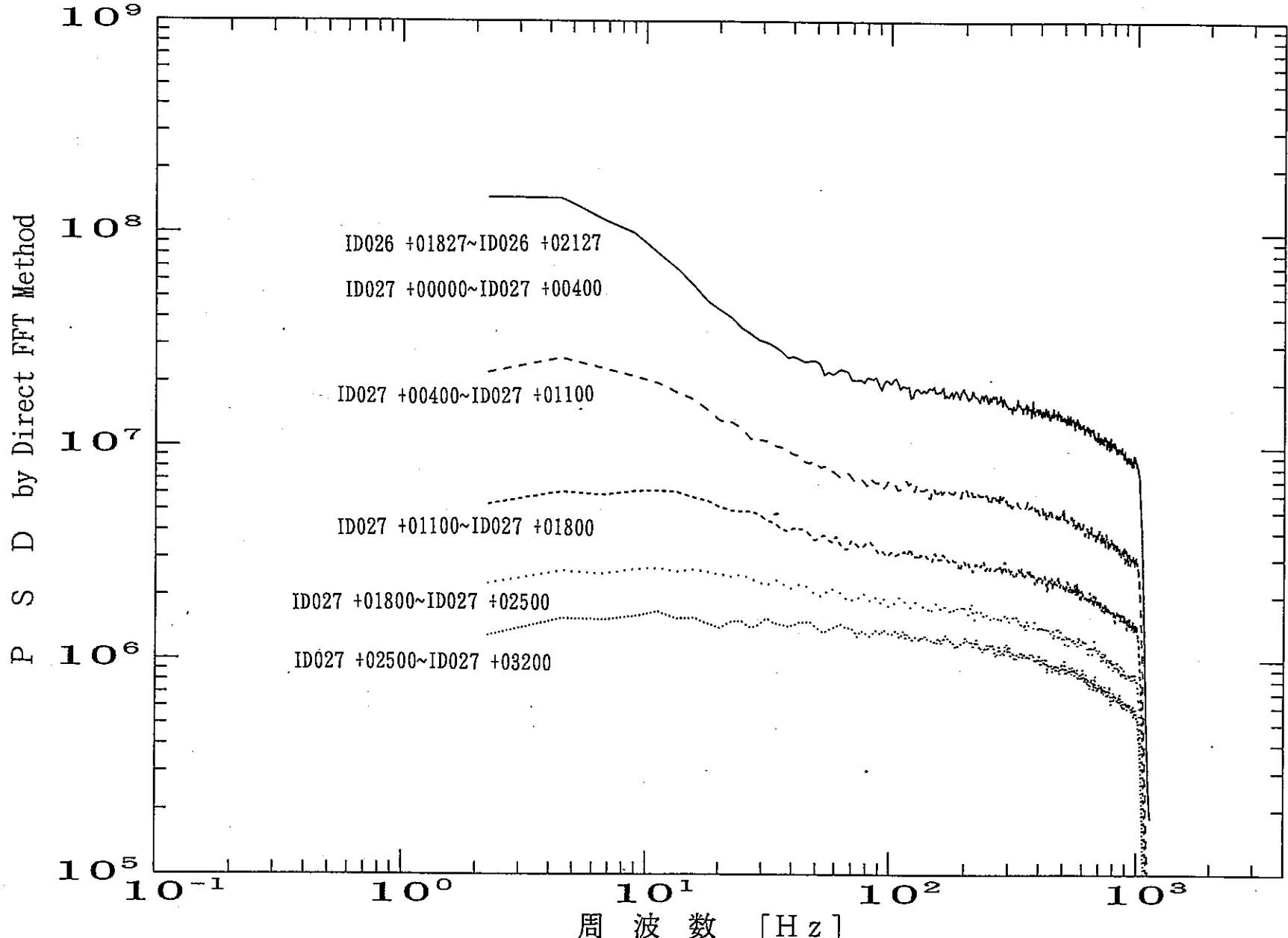


図 4-46 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 026 ~ 027 , フォルス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
平均値除去処理 , LPF , HPF : 無)

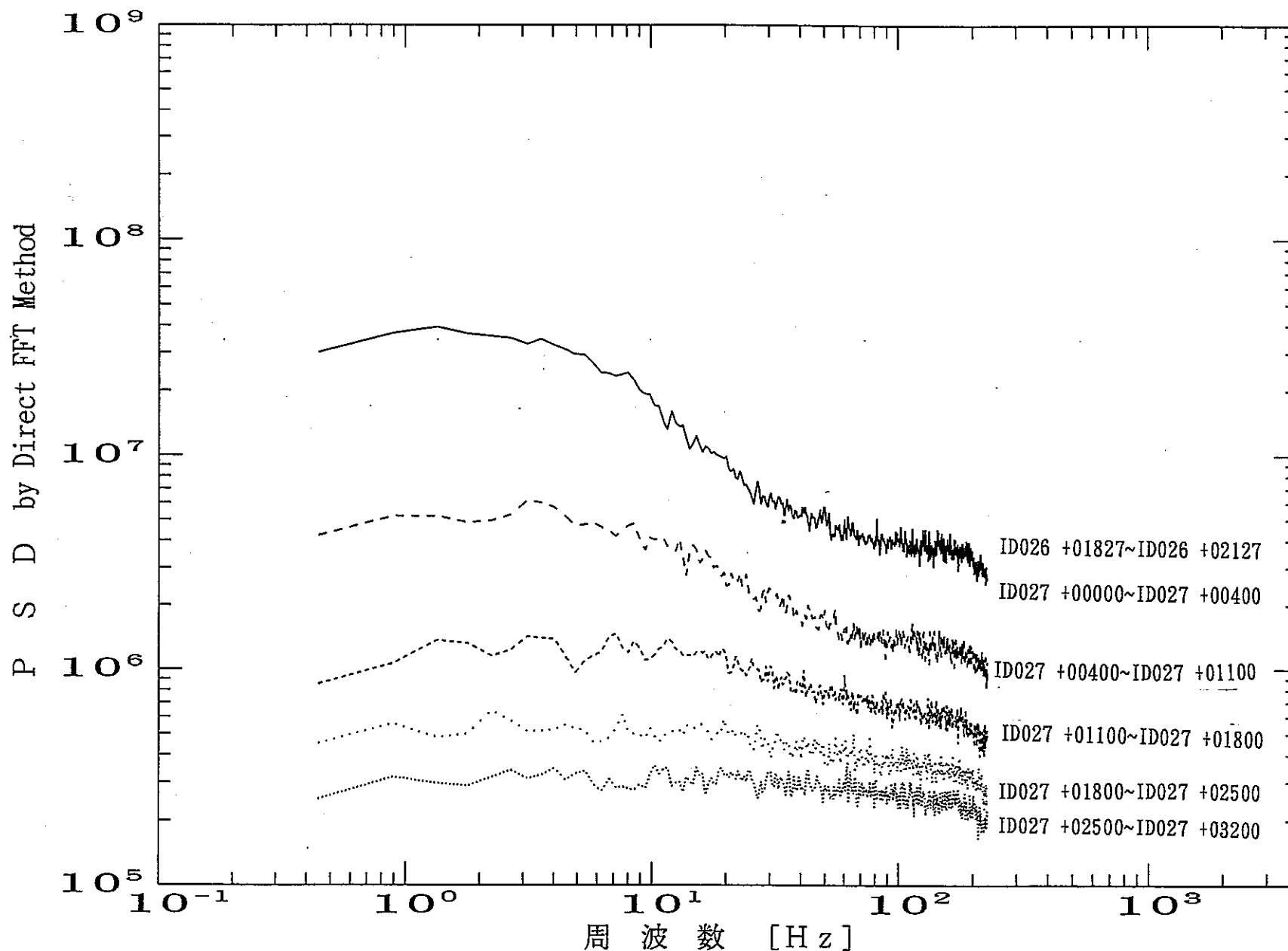


図 4-47 高速フーリエ変換(FFT)によるPSD
(IDコード : 026~027 , フォルダ : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
平均値除去処理 : 有 , LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

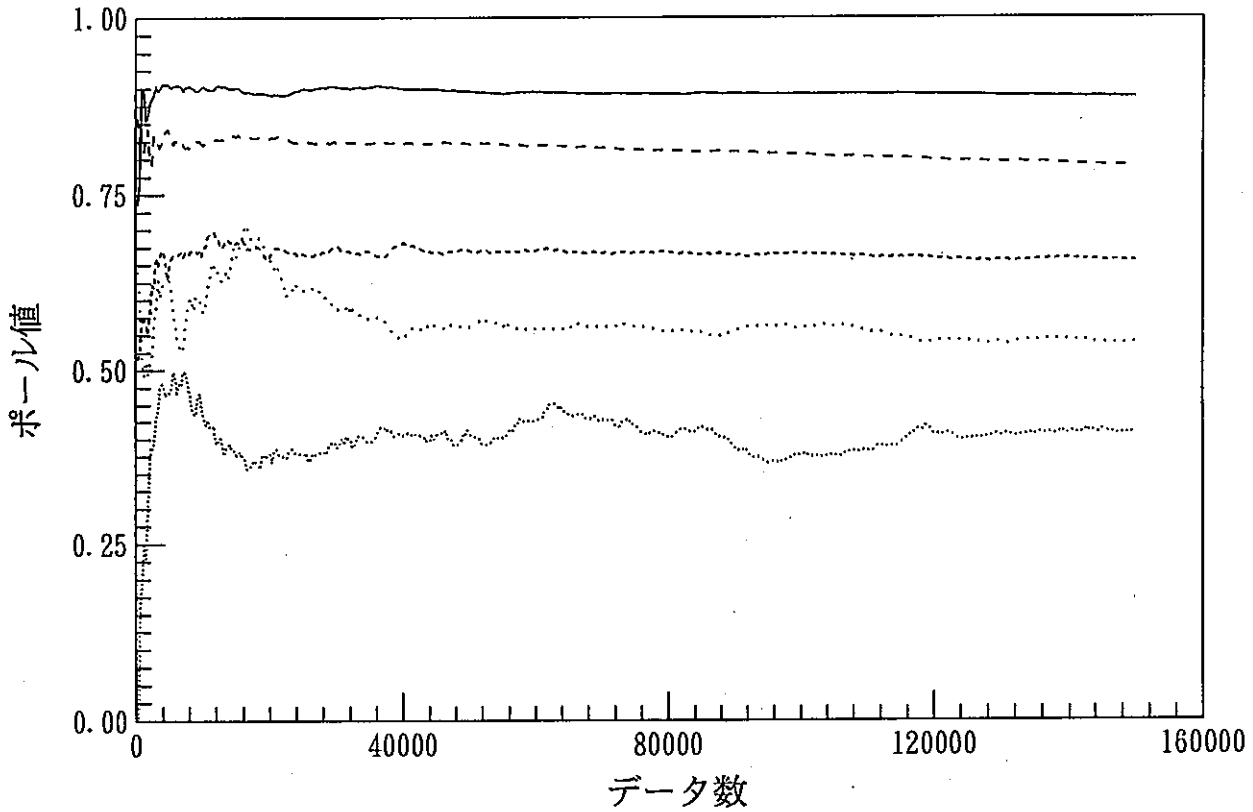


図 4-48 ELS法 (ARMA(2,2)) による推定
 (IDコード : 026~027 , フォリス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
 サプリック周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
 LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)

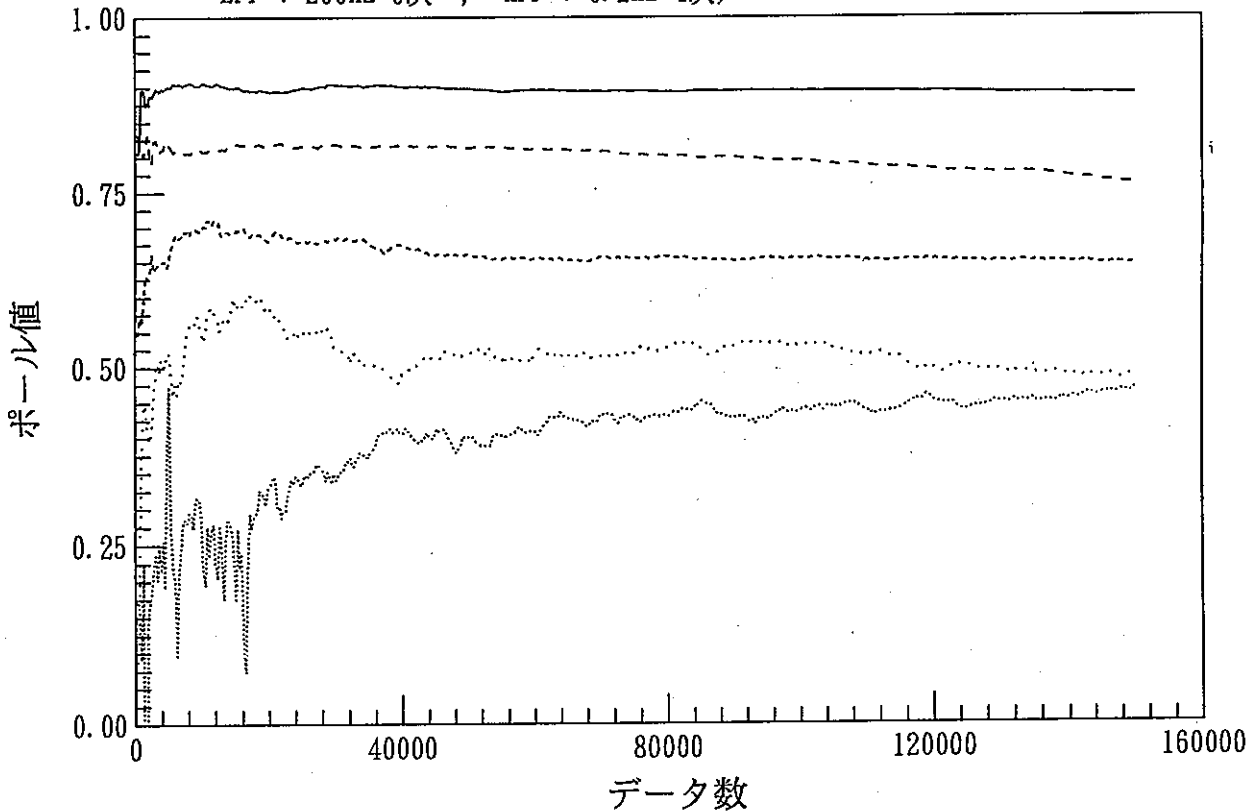


図 4-49 ELS法 (ARMA(3,3)) による推定
 (IDコード : 026~027 , フォリス : ID026 +01827 ~ ID027 ALL ,
 サプリック周波数 : 457.1428571 Hz , 平均値除去処理 : 有 ,
 LPF : 200Hz 6次 , HPF : 0.2Hz 4次)