

JAERI-Research
95-015



疑似不規則信号を用いた原子力船
「むつ」動特性同定実験（III）
— 第3回実験 —

1995年3月

林 光二・島崎潤也・鍋島邦彦
篠原慶邦*・井上公夫**・落合政昭

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division, Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 1995

編集兼発行 日本原子力研究所

印 刷 株原子力資料サービス

疑似不規則信号を用いた原子力船「むつ」動特性同定実験（Ⅲ）
－ 第3回実験 －

日本原子力研究所東海研究所原子炉工学部
林 光二・島崎 潤也⁺・鍋島 邦彦・篠原 廉邦^{*}
井上 公夫^{**}・落合 政昭⁺

(1995年2月3日受理)

原子力船「むつ」の原子炉プラント動特性を評価する目的で、第3次実験航海中の1991年9月16日に、疑似不規則2値信号(PRBS)を用いた第3回炉雑音実験を実施した。

第3回実験は、炉出力70%，通常海域の条件下で、制御棒または主蒸気弁の手動操作によりPRBSを印加する反応度外乱実験ならびに負荷外乱実験を実施し、プラント応答信号や船体加速度信号を測定するとともに、自然状態下でのプラント雑音信号を測定した。さらに、各疑似不規則外乱の効果を評価するために、各実験後に、自然状態下でのプラント雑音信号を測定した。

本報告は、実験計画、実施要領書と実験の記録、データ収録条件、収録したデータの信号波形ならびにパワー・スペクトル解析の結果をまとめたものである。

東海研究所：〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方字白根2-4

+ 原子力船研究開発室

* 原子力技術開発機構

** 石川島播磨重工業(株)

Reactor Dynamics Experiment of Nuclear Ship Mutsu Using Pseudo Random
Signal (III); The Third Experiment

Koji HAYASHI, Junya SHIMAZAKI*, Kunihiko NABESHIMA
Yoshikuni SHINOHARA*, Kimihiko INOUE** and Masaaki OCHIAI[†]

Department of Reactor Engineering
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 3, 1995)

In order to investigate dynamics of the reactor plant of the nuclear ship Mutsu, the third reactor noise experiment using pseudo random binary sequences (PRBS) was performed on September 16, 1991 in the third experimental navigation.

The experiments using both reactivity and load disturbances were performed at 70% of reactor power and under a normal sea condition. Each PRBS was applied by manual operation of the control rod or the main steam valve. Various signals of the plant responses and of the acceleration of ship motion were measured. Furthermore, natural reactor noise signals were measured after each PRBS experiment in order to evaluate the effects of the PRBS disturbances.

This paper summarizes the planning of the experiment, the instruction for the experiment and logs, the data recording conditions, recorded signal wave forms and the results of power spectral analysis.

Keywords: Nuclear Ship Mutsu, Third Experimental Navigation, Reactor Dynamics Experiment, Pseudo Random Binary Sequence, Reactor Noise Analysis

+ Office of Nuclear Ship Research and development

* Nuclear Power Engineering Corporation

** Ishikawajima-Harima Heavy Industry Co.

目 次

1. はじめに	1
2. 実験計画と準備	3
2.1 疑似不規則信号を用いた船用炉動特性の測定法	3
2.2 第1回実験の概要	3
2.3 第2回と第3回実験の計画と準備	4
3. 実験の実施要領と記録結果	8
4. プラント計装系・船体振動計測系とデータ収録条件	21
4.1 プラント計装系	21
4.2 船体振動計測系	21
4.3 データ収録系	24
4.4 測定変数と収録条件	26
5. 測定結果	36
5.1 信号波形	36
5.2 パワー・スペクトル解析	37
6. 実験の考察	152
6.1 第3回反応度外乱実験	152
6.2 第3回負荷外乱実験	154
6.3 波浪の影響	155
6.4 自然雑音時のプラント信号	157
6.5 データ収録系の問題	157
6.6 収録信号の問題	158
6.7 実験の総合評価	159
7. おわりに	170
謝 辞	170
参考文献	171
付録 用語解説	172

Contents

1. Introduction	1
2. Planning and Preparation of the Experiment	3
2.1 Measurement Method Using Pseudo Random Sequences for Nuclear Ship Reactor Dynamics	3
2.2 Overview of First Experiment	3
2.3 Planning and Preparation of Second and Third Experiments	4
3. Instruction for the Experiment and Logs	8
4. Instrumentation Systems for Reactor Plant and Ship Motion Measurement and Data Recording Conditions	21
4.1 Reactor Plant Instrumentation System	21
4.2 Ship Motion Instrumentation System	21
4.3 Data Recording System	24
4.4 Measured Variables and Recording Conditions	26
5. Measurement Results	36
5.1 Signal Wave Forms	36
5.2 Power Spectral Analysis	37
6. Discussions on the Experiment	152
6.1 Third Reactivity Disturbance Experiment	152
6.2 Third Load Disturbance Experiment	154
6.3 Effect of Sea Waves	155
6.4 Plant Signals at Natural Noise State	157
6.5 Problems of Data Recording System	157
6.6 Problems of Recording Signals	158
6.7 Overall Evaluation on the Experiment	159
7. Concluding Remarks	170
Acknowledgments	170
References	171
Appendix. Technical Terms	172

1. はじめに

本報告は、疑似不規則信号を用いた第3回「むつ」動特性同定実験に関するものである。原子炉制御研究室(現、制御知能工学研究室)では、1985年に日本原子力研究所が原子力船「むつ」の運営母体であった「日本原子力船研究開発事業団」を吸収合併したのを機に、プラント動特性ならびにシステム同定手法の研究を目的に、原子力船「むつ」の動特性同定実験を計画した。

原子力船「むつ」の原子炉プラント動特性は、陸上炉とは異なり確率過程と見なせる海洋波や船体運動の影響を受けることから、その動特性評価には「波浪・船体振動・原子炉プラントのゆらぎ」の同時測定実験とこれらの測定データを一括処理できる雑音解析手法の適用が必要である。さらに「むつ」の実験期間が限られていることから測定実験には効率の高い方法が望まれる。このため、本実験では疑似不規則信号を用いた動特性測定法を採用した。この実験法はプラントの制御操作端から疑似不規則信号に従う微小外乱を印加し、この時のプラント応答を各部に配置したセンサで計測する方法であり、後に測定データに雑音解析を施すことにより動特性同定ができる。この方法は、過渡応答法に比べると、多変数間の応答特性を一括して評価できるため測定効率が良く、また、自然雑音だけを用いた雑音解析法に比べると、比較的長い時間に渡りプラント信号を雑音レベル以上の振幅に励起できることから測定精度の点で優れている。

第1回実験は、後の本格的な実験実施を前提として、① 実験法と実験条件の妥当性、② 疑似不規則外乱のプラント運転に及ぼす影響、③ 測定変数、信号収録条件の妥当性、などの評価を目的に、第1次実験航海中の1991年3月4日に実施した¹⁾。このとき、海象・プラント運転条件は静穏海域・炉出力70%に設定し、疑似不規則信号を用いて

- (a) 制御棒操作による反応度外乱実験
- (b) 蒸気流量弁操作による負荷外乱実験

の2つの実験を実施し、プラントならびに船体振動の各種センサ信号を測定した。その結果、事前に検討した実験法・実験条件は妥当で、疑似不規則外乱が支障無く印加できること、プラント応答も予想通り安定で定常性を維持できること、測定データも動特性同定に十分使用できることが確認できた。

これらの成果を受けて、第2回および第3回実験を計画した。これらの実験では、

- ① 実験を重ね解析に使用できるデータを蓄積
 - ② 異なる海象・プラント運転条件のデータ測定による海象・プラント条件の影響評価
 - ③ 疑似不規則外乱を印加しない自然雑音の測定による人工外乱の影響の評価
- を目的に、それぞれの回につき、2つの疑似不規則外乱実験に自然雑音の測定を加えた下記の3つの測定実験を行うことにした。

- (a) 制御棒操作による反応度外乱実験
- (b) 蒸気流量弁操作による負荷外乱実験
- (c) 自然状態の雑音信号の測定実験

海象・プラント条件は、実験スケジュールの関係から「荒海」は含まれてないが、第2回では「静穏海域・炉出力50%」、また第3回では「通常海域・炉出力70%」と計画した。

	炉出力50%	炉出力70%
静穏海域	第2回実験	第1回実験
通常海域		第3回実験

疑似不規則外乱実験に関しては、より良い結果が得られるように疑似不規則信号や実験の仕様を若干修正した。こうして計画した第2回実験(50%出力、静穏海域)²⁾、第3回実験(70%出力、通常海域)は、第3次実験航海において「原子炉一次系統応答測定実験」と題する実験項目で、それぞれ、1991年8月30日および9月14日に実施した。

本報告は、第1報、第2報と同様に、実験に主眼を置き、実験計画と準備、実施要領書と実施記録、測定法とデータ収録条件についてまとめ、さらに測定結果として収録した信号波形とパワー・スペクトル解析の結果を合せて示し、第3回実験の評価を行ったものである。

第3回実験と第2回実験は、原子炉出力・海象条件以外は同一の実験であるため、実験計画や準備作業の内容は共通であるが、収録データおよびスペクトル解析の量が多いいため、第3報として独立してまとめた。したがって、本報告では、実験計画や準備作業については簡単な記述に止めた。詳細は、第2報を参照されたい。なお、プラント動特性を主眼とする詳細なデータ解析は後続の報告書にまとめる予定である。

2. 実験計画と準備

本章では、疑似不規則信号を用いた動特性測定法、原子力船「むつ」における第1回動特性同定実験とその成果を概説した後、第2回および第3回実験の計画検討と準備について述べる。

2.1 疑似不規則信号を用いた舶用炉動特性の測定法

「むつ」の原子炉プラント³⁾は2ループ型の加圧水型原子炉(PWR)プラントであり、その動特性は、基本的には陸上発電用PWRプラントと同様と考えられるが、舶用炉の特徴として、

- (a)船舶の推進機関として要求される良好な負荷追従特性
- (b)原子炉プラントに対する波浪や船体振動の影響

などに違いが見られ、特に後者を含む動特性測定には、天然自然の確率現象である波浪やそれによって励起される確率的な船体運動や振動と、原子炉プラント変数に重畳するゆらぎ成分、いわゆる炉雜音とを同時に取り扱うことのできる統計的解析手法の適用が不可欠である。実際、これまでの舶用炉動特性測定では、米国の原子力船「サバンナ」⁴⁾や旧西独の「オットーハーン」⁵⁾のいずれも炉雜音解析による方法が適用されている。

一方、炉雜音を用いた動特性測定においては、原子炉プラント内部にプラントの各変数を十分に励起できる雜音源の存在が不可欠であるが、「むつ」炉の様に、小型PWRの場合には顕著な雜音源に乏しいことから、自然状態で測定した炉雜音データによる動特性測定では十分な測定精度が確保できないことが予想される。この場合には、疑似不規則信号などの人工的な雜音を外部から加えてプラント変数を励起する方法が有効である。疑似不規則信号としては、簡単に発生でき励起できる周波数範囲を広く取れるPRBS(疑似不規則2値系列:Pseudo Random Binary Sequence)などが利用できる。この測定法は、国内の陸上用発電炉では初期の研究用小型BWRであるJPDRII⁶⁾に、また舶用炉では「オットーハーン」の改良加圧水型炉(FDR)⁵⁾に適用された例がある。そこで、「むつ」の動特性測定でもこの方法を採用することにした。

2.2 第1回実験の概要

PRBSを用いた「むつ」動特性同定実験は、事前の検討作業、シミュレーション実験、「むつ」における制御操作端の調査などを経て具体化し、実験方法などの調査を主目的とする第1回実験を第1次実験航海の最終日(1991年3月7日)に実施した。

第1回実験では、静穏海域、炉出力70%において、(1)反応度外乱と(2)負荷外乱の2つの実験を行った。疑似不規則信号にはM系列を採用し、操作指示用ビデオを見ながら制御操作端を手動操作し入力した。各実験における外乱の大きさ、M系列の仕様、印加時間はTable 2.1に示す通りである。制御棒操作では、操作量が約5mmと微小で制御棒位置指示計に現れないため、決められた時間だけ操作する「時間法」を採用した。また、主機操縦レバー操作では、予め±5%変動するレバー位置を調べてマークしておき、この範囲を操作する方法を採用した。

実験の結果、これらの操作法により支障なく実験が行え、プラントの応答も変動幅こそやや

小さめであったがほぼ予想通りの特性を示し、収録データは十分動特性解析に使用できるの質を有していることが確かめられた。

Table 2.1 第1回「むつ」動特性同定実験の仕様と結果

実験の種類		反応度外乱実験	負荷外乱実験
海象条件		静穏海域	静穏海域
航行条件		定速直進	定速直進
原子炉プラント	炉出力	70%	70%
運転条件	制御系	<ul style="list-style-type: none"> ・主機タービン回転数 フィードバックOFF, ・自動制御系OFF ・その他ON 	<ul style="list-style-type: none"> ・主機タービン回転数 フィードバックOFF, ・その他ON
疑似不規則外乱 実験条件	操作変数	制御棒位置(1本駆動)	主機操縦弁開度
	操作量	4sec (5.333mm)	下記変動を起こす範囲
	制御変数	反応度	主機蒸気流量
	外乱の大きさ	±12.7pcm(炉出力±2.5%)	±5%
	外乱系列	M系列 5sec, 7bit	M系列 10/12sec, 6bit
周期数	2	3	
操作時間(mm:ss)	21:10	31:30/38:00	
結果	制御変数の変動	制御棒位置 5mm 反応度 ±7.5pcm	主蒸気流量 3.0t/h 全流量比 ±2.45%
	動作時間	1.25mm/sec	0.49%/sec
	炉出力変動	(±%) ±1.8% (APRM)	(±%) ±2.75%

2.3 第2回と第3回実験の計画と準備

第1回実験の成果に基づき、第2回および第3回実験を計画した。最終的に決定した実験の仕様をTable 2.2に、操作変数と外乱の大きさの詳細をTable 2.3に、また、PRBSの詳細をTable 2.4に示す。以下にその説明を加える。

(1) 外乱実験と自然雑音の測定

第1回実験においては、反応度と負荷の2つの外乱実験を行ったが、疑似不規則信号による外乱の効果を評価するためには、自然状態における炉雑音測定が重要である。第1回実験では、その主目的が実験法の調査にあり、疑似不規則信号を用いた実験そのものが実現できるかどうかの判定に重きが置かれ、また実験時間の制約もあったためこの種の測定は省略された経緯がある。

Table 2.2 第2回、第3回「むつ」動特性同定実験の仕様

実験の種類		反応度外乱実験	負荷外乱実験	自然雑音
海象条件		(第2回)静穏海域 (第3回)通常海域		
航行条件		定速直進		
原子炉	炉出力	(第2回)50% (第3回)70%		
プラント運転条件	制御系	・主機タービン回転数 フィードバックOFF, ・自動制御系OFF ・その他ON	・主機タービン回転数 フィードバックOFF, ・その他ON	負荷外乱実験に同じ
疑似不規則外乱実験条件	操作変数	制御棒位置(2本駆動)	主機操縦弁開度	なし
	操作量	3sec (合計8.0mm)	下記変動を起こす範囲	
	制御変数	反応度	主機蒸気流量	
	外乱の大きさ	±19.0pcm(炉出力±3.8%)	±5%	
	外乱系列	M系列 5sec, 7bit	M系列 10sec, 7bit	
	周期数	3	2	
安全対策	操作時間 (mm:ss)	31:45	42:20	
	監視変数	反応度計記録(45pcm超)	主蒸気流量(10%超)	
	操作打ち切り	炉出力初期値の±7%超	上に同じ	

第2回以降の本格的な実験では、2つの疑似不規則外乱実験を行うと共に、それと同一の海象・航行条件、プラント運転条件下で炉雑音測定を行い、外乱印加時のデータと比較しうる自然状態下的データを取得することにする。

(2) 海象・航行条件とプラント運転条件

プラント動特性に対する海象条件と炉出力条件の影響を評価するためには、これら2つの条件をパラメータとした複数の実験を実施し、その解析結果を比較する必要がある。実験は、直前の準備を含めて約1日を要するため、1航海では1~2回の実施が限度である。少ない回数の実験で比較し得るデータを測定するためには、海象条件あるいは炉出力条件のいずれか一方を同一条件とし、他方を異なる条件にした実験を行うことが必要である。

第1回実験では、静穏海域において炉出力70%での実験を行った。このため、

- 1) 静穏海域において出力を変えた場合の実験
- 2) 炉出力70%において海象条件を変えた実験

の2つが考えられる。この2つが実施できれば、両条件を同時に変えた実験も意味がある。そこで、第2回では静穏海域・炉出力50%、第3回では通常海域・炉出力70%を計画した。

(3) 疑似不規則外乱実験条件

反応度外乱実験における外乱の大きさや操作量に関しては、第1回実験結果から制御棒1本駆動モードで4sec操作では印加反応度がやや小さいこと、1本駆動ではグループ内の2本の制御棒が交互に動いてしまうことなどが分っている。このため、第2回以降では制御棒操作を2本駆動モードとし、外乱の大きさは操作時間3sec(制御棒駆動距離各4mm、2本計8mm)に設定し、反応度変化量を±19pcmとした。他方、主機操縦弁による負荷外乱実験の場合、第1回実験の外乱の大きさはほぼ満足できる値であるため、第2回以降の操作量はこれを踏襲することにした。以上をまとめると、Table 2.3のようになる。

Table 2.3 第2回、第3回「むつ」動特性同定実験の操作変数と外乱の大きさ

No	外乱の種類	操作変数	操作方法と操作量	制御変数と外乱の大きさ	炉出力変動(推定)	操作打ち切り
1	反応度	制御棒位置 2本駆動モード (初期偏差10mm 以内)	操作時間 3sec(8.000mm) 初回1.5sDown 終回1.5sUp	反応度 ±19.00pcm (監視値±45pcm)	±5.2% (最大)	炉出力 ±7%超
2	負荷 1	タービン側蒸気弁開度(インプット・スピントル・リフト)	操作範囲をマーク 10% 初回 -5% 終回 +5%	主機蒸気流量 ±5%(操作目標)	±5% (最大)	主蒸気流量 ±10%超

次に、PRBSの仕様であるが、Table 2.4に示すように、反応度外乱に関しては第1回実験と同様のM系列信号を採用し、データ収録時間を延ばすために周期数を2から3に変更した。負荷外乱に関しては、Bit数を6から7に変更し周波数範囲を少し広げた。周期が2倍に大きくなるため、周期数を3から2に変更したが、これでもデータ収録時間は30%強増加している。

Table 2.4 第2回、第3回「むつ」動特性同定実験のPRBS主要パラメータと周波数範囲

No.	外乱の種類	操作変数	M系列信号の仕様				周波数範囲		備考
			Bit 間隔 sec	Bit 数	周期 長 sec	周期 数	最低 周波数 Hz	最高 周波数 Hz	
1	反応度	制御棒位置	5	7	635	9	0.00286	0.2	0011100
2	負荷	主機操縦弁開度	10	7	1270	2	0.00143	0.1	0011100

(4) 操作指示用ビデオ

第1回実験では、制御棒や主機操縦レバーの操作員に疑似不規則信号に従った操作を指示する方法として、予め計算機を用いて作成した8mmビデオを用いたが、今回もこれを用いることにした。ビデオ・テープはTable 2.5に示す6本を準備した。

Table 2.5 操作指示用ビデオ・テープの仕様；(1991年8月7日作成)

外乱の種類と Tape No.	矩形波 収録時間 mm:ss	M系列 収録時間 mm:ss	ビット 時間 間隔 sec	操作 継続 時間 sec	M系列の仕様			プログラム		
					ビット 数	周期 長 sec	周期 数	初期 bit	アドレス ver.	備考
反応度	1 3 5	なし 31:45 31:45	31:45 5 5	3 3 4	7 7 7	635 635 635	3 3 3	0011001 0011001 0011001	ONB61 ONB61 ONB60	$\downarrow=75$ $\downarrow=75$ $\downarrow=60$
	2 4 6	なし 42:20 42:20 50:48	42:20 10 10 12	マーカー マーカー マーカー	6 6 6	1270 1270 1524	2 2 2	0011001 0011001 0011001	ONB62 ONB62 ONB62	$\downarrow=100$ $\downarrow=100$ $\downarrow=100$

(注) Tape No. 1, No. 2の予備としてNo. 3, No. 4を作成した。

最終的に、反応度外乱実験ではNo. 1, 負荷外乱実験ではNo. 2を使用した。

(5) 人員の配置と役割分担と実験器材の配置

人員の配置ならびに実験器材については、原則として第1回実験と同じである。

(6) データ収録条件

収録信号の一部変更を行った。これについては、4章に述べてある。

3. 実験の実施要領と記録結果

実験の実施要領書は、原子炉制御研究室が第1回実験の要領書をもとにして第2回および第3回共通のものを立案し、原子力船技術部試験課によって他の実験要領書とのバランスを考慮してまとめられた。

第2回実験は1991年の8月30日に、また第3回実験は9月16日に本要領書に従って実施された。ここでは、要領書の記述項目ならびに当日までに追加された補則事項を示すとともに、第3回実験における各種パラメータの記録を示す。

原子力船「むつ」実験航海

直進航行時測定実験

原子炉・一次系応答特性測定

(静穏海域)

(通常海域)

要領書

平成3年7月

原子力船技術部

1. 目的

原子力船「むつ」の制御系操作端に手動操作により疑似不規則信号を与え、人工的に印加し外乱に対するプラント各部の応答を計測し、得られたデータから「むつ」炉心部及びプラント全体の動特性解析・評価を行う。

2. 概要

原子炉・一次冷却系応答特性測定のための実験を実施する。実験は、制御棒による反応度の印加を与える実験と、主機操縦弁開度を変化させて負荷変動を与える実験の2種類からなる。なお、比較のためこれら外乱の無い場合の当該プロセス量のゆらぎ量の測定を行う。

(1) 反応度外乱予備実験

- 1) 炉出力制御系を手動とし制御棒2本(1グループ)駆動を選択する。
- 2) 原子炉出力約50% (70%) にて操作を行う制御棒グループの位置調整を行う。
(グループ内の制御棒位置の偏差が10mm以内)
- 3) 疑似不規則信号に基づき、約30分間、反応度変動幅が約40pcmとなるように制御棒を手動操作する。

(2) 負荷外乱予備実験

- 1) 主機操縦レバーにより蒸気流量の変動が約10%となるレバー位置を求める。
(炉出力約50%及び約70%それぞれに対して±5%のレバー位置。)
- 2) 疑似不規則信号に基づき約40分間、蒸気流量の変動幅が約10%となるように主機操縦レバーを操作する。

(3) ゆらぎ量の測定

- 1) 炉出力約50% (70%) の定常状態において、上記の反応度外乱及び負荷外乱がないもとでプロセス量のゆらぎ量を測定する。

実験条件は下表に示すとおりである。

出力	変動パラメータ	静穏海域	通常海域	荒海域	高温海域
炉出力 50%	反応度外乱	○			
	負荷外乱	○			
炉出力 70%	反応度外乱	●	○		
	負荷外乱	●	○		

[記号] ●；実施済み ○；実施予定

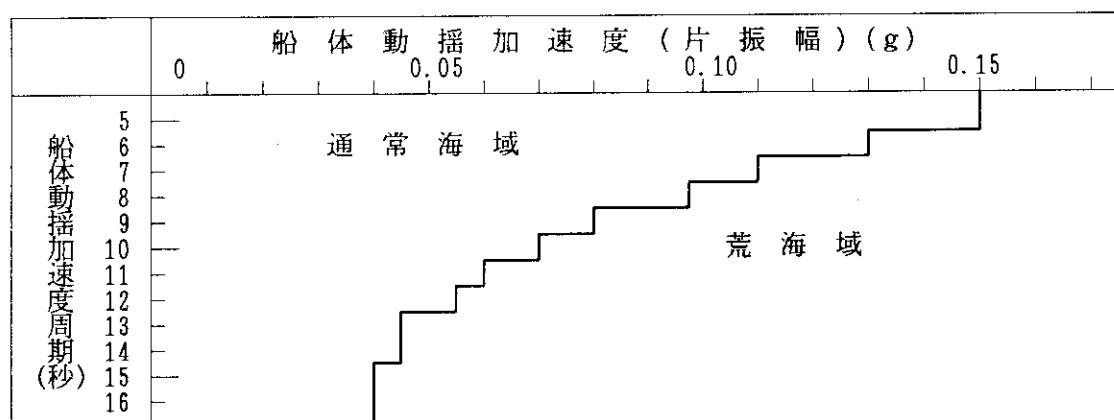
3. 実験条件

3.1 気象・海象条件

海域の判定は、下記2表を参考にして行う。

		合成波の有義波高(m)									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
うねり波周期 (秒)		4		静			通			荒	
		6		穏			常			海	
		8		海			海			域	
		10		域							
		12									
海水温度		高温海域は、海水温度が概ね28°C以上の海域とする。									

(注) 高温海域での実験は、荒天状態では行わない。



3.2 航走条件

- 直進航行を原則とする。(緊急時以外の操舵は行わないものとする。)

3.3 プラント条件

3.3.1 炉出力50%

- 1) 原子炉出力が約50%で安定していること。
- 2) 主機タービン回転数フィードバックスイッチ : OFF
- 3) 以下の制御系が「自動」となっている。
 - a)原子炉出力制御系
 - b)加圧器圧力制御系
 - c)加圧器水位制御系
 - d)SG給水制御系
 - e)主ダンプ制御系
- 4) 下記プロセス量が通常運転状態で安定している。
 - a)一次冷却水平均温度 : 設定温度 ±1.2°C
 - b)一次冷却水圧力 : 設定圧力 ±1 kg/cm²
- 5) G1及びG2グループの制御棒位置がほぼ同位置にあること。

3.3.2 炉出力70%

- 1) 原子炉出力が約70%で安定していること。
- 2)～5)は 3.3.1の50%の場合と同じ

4. 注意事項

- 1) 制御棒操作及び主機操縦レバー操作は、試験担当者の合図により運転員が行う。
- 2) 試験担当者は、疑似不規則信号に従い、運転員に操作を指示する。投入外乱に誤りがあった場合には、適宜判断して次の操作を運転員に指示する。
- 3) 反応度外乱実験において、原子炉出力が初期値より±7%以上逸脱した場合には実験を中断する。また、1操作の反応度添加量が45pcmを超えた場合は監視員が試験担当者に連絡する。
- 4) 負荷外乱実験において、主蒸気流量が初期値より±10%以上逸脱した場合には実験を中断する。
- 5) 上記3)及び4)の監視は、監視員がペンレコーダーにより行い、試験担当者に連絡する。
- 6) データ処理装置のAD4チャンネル収録変数に、表1の信号が設定されていること。
また、AD4チャンネルのゲインを適宜調整しておくこと。

5. 使用器材

ビデオウォークマン 2台
ペンレコーダ (反応度、蒸気流量) 1台

6. 計測員配置

制御室	3名
指揮	1名 (井上)
データ処理装置の操作	1名
ペンレコーダ (監視員)	1名

7. 手 順

7.1 炉出力約50%

(第2回実験の記述のため省略)

7.2 炉出力約70%

7.2.1 反応度外乱実験

9月16日13:40

1) 計測員配置を確認する。 [ν]

2) プラント初期条件を確認する。(3.3 プラント条件の確認による。) [ν]

(3.3 プラント条件を再録)

1) 原子炉出力が約70%で安定していること。 [ν]

2) 主機タービン回転数フィードバックスイッチ : OFF [ν]

3) 以下の制御系が「自動」となっている。

a)原子炉出力制御系 [ν]

b)加圧器圧力制御系 [ν]

c)加圧器水位制御系 [ν]

d)SG給水制御系 [ν]

e)主ダンプ制御系 [ν]

4) 下記プロセス量が通常運転状態で安定している。

a)一次冷却水平均温度 : 設定温度 ±1.2°C [ν]

No.1 [273.7] °C No.2 [273.4] °C

b)一次冷却水圧力 : 設定圧力 ±1 Kg/cm² [ν]

MC-17 [110.9 kg/cm²G]

5) G1及びG2グループの制御棒位置がほぼ同位置にあること。 [ν]

630/631 592/592

3) 船体及び主軸回転数の整定を確認する。

a) 針路の整定を確認する。(針路: 250 度) (追い波) [ν]

b) 軸回転数がほぼ整定していることを確認する。(回転数: 16.5 回転) [ν]

c) 船速がほぼ整定していることを確認する。(船速: 16.5 kt) [ν]

4) 下記の計測を行い気象・海象条件の判定を行う。 [ν]

制御室(波高計) 操舵室(目測) 操舵室(ハイドロ)

有義波高(船首) 波周期(うねり) 海水温度

1.8 m 8 s 28.6 °C

制御室(ポンプ) (出会い周期12.5sec)

船体動搖加速度(A4)

海 域

片振幅 0.06 g/周期 1.5 s

[静穏 通常 荒海 高温]

5)~7) (削除)

8) データ処理装置による収録準備完了を確認する。 [ν]

(AD4収録信号の確認)

9) データ処理装置による収録を開始する。 [ν]

- 10) 原子炉プラント諸変量（炉出力、SG水位等）が整定していることを確認する。
 (炉出力: 69.0 %) [ν]
- 11) 初期状態でのデータ計測を、操舵室（データシートA）、制御室（データシートB）にて行う。（1回目） 13:44 [ν]
- 12) G 1 及びG 2 グループの各制御棒位置を確認する。
- | | |
|---------|------------------|
| G 1 CR1 | [<u>630</u>]mm |
| G 1 CR2 | [<u>631</u>]mm |
| G 2 CR3 | [<u>592</u>]mm |
| G 2 CR4 | [<u>592</u>]mm |
- (本実験航海中での自動制御棒はG 2 グループが選択されている。)
- 13) G 2 グループ内の位置偏差が10mm以内であれば14)へ進む。 [ν]
 G 2 グループの位置偏差が10mmを越えている場合には、原子炉出力制御系を手動にして制御棒の挿入または引抜を交互に繰り返し行い、位置偏差を10mm以内とする。
- 14) 原子炉出力制御系を手動に切換え、G 2 グループの制御棒2本駆動モードと [ν] する。
- 15) 原子炉プラント諸変量の整定を待つ。 [ν]
- 16) AD4チャンネルのゲイン調整を行うため、本番実験と同じ要領で短時間（約10分間）の予備実験を行う。
- ⅰ) 試験担当者は、操作を指示するビデオ装置をスタートさせ指示を開始する。 [ν]
 - ⅱ) 運転員は、試験担当者及びビデオ画面からの指示により制御棒操作を行う。 [ν]
 - ⅲ) 実験中、データ収録装置操作担当者はAD4チャンネル信号のオーバーロードを監視し、各信号に対して適切なゲイン設定を行う。 [ν]
 - ⅳ) ゲイン設定が終了したら、試験担当者の合図により予備実験を終了する。 [ν]
- 17) 原子炉プラントの整定を待つ。
- 炉出力がほぼ初期出力となっていることを確認する。 [69.5] %
 G 2 グループの制御棒位置偏差が10mm以内であることを確認する。
- CR3 : [592 mm] CR4 : [590 mm] 14:06
- なお、上記条件を満足していない場合には、適宜調整を行う。
- 18) 原子炉プラントの整定を確認したら、データシートB（制御室）に従って計測を行う。（2回目） [ν]
- 19) データ処理装置による収録を一旦停止し、AD1及びAD4チャンネルの同時スタートにより収録を再開する。（サンプリング間隔は0.1sec） [ν]
- 20) 試験担当者は、操作を指示するビデオ装置をスタートさせ、本番実験の操作の開始を指示する。 [ν]
- 21) 運転員は、試験担当者及びビデオ画面からの指示により制御棒操作を行う。
 なお、制御棒の操作は、制御棒位置指示計の目盛り(mm)を使わず、操作持続時間(秒)により下記要領で行う。
- ⅰ) 予め指示された操作方向に、試験担当者の合図により、操作を開始する。
 - ⅱ) 試験担当者の合図により、操作を停止する。
- 22) 試験担当者は、ペンレコーダによる反応度及び炉出力の変化状況を観察し、

- 操作に対する指示の妥当性を確認する。 [589/586] [✓]
- 23) ビデオによる指示が終了したら、原子炉プラントの整定を待つ。 [✓]
- 24) 原子炉プラントの整定を確認したら、データシートB(制御室)に従って計測を行う。(3回目) [14:45] [✓]
- 25) データ処理装置による収録を停止する。 [✓]
- 26) 反応度外乱実験を終了する。その後、原子炉出力制御系を自動モードとし、初期の実験条件に示されたプラント状態への移行を行う。
(但し、G1及びG2グループ内位置偏差に対する要求は特にない。) [✓]

7.2.2 負荷外乱実験

- 1) 計測員配置を確認する。 [✓]
- 2) プラント初期条件を確認する。(3.3 プラント条件(5)を除く)による。 [✓]

(3.3 プラント条件を再録)		
1) 原子炉出力が約70%で安定していること。	[69.8%	[✓]
2) 主機タービン回転数フィードバックスイッチ	: OFF	[✓]
3) 以下の制御系が「自動」となっている。		
a)原子炉出力制御系		[✓]
b)加圧器圧力制御系		[✓]
c)加圧器水位制御系		[✓]
d)SG給水制御系		[✓]
e)主ダンプ制御系		[✓]
4) 下記プロセス量が通常運転状態で安定している。		
a)一次冷却水平均温度	: 設定温度 ±1.2°C	[✓]
No.1 [273.3] °C	No.2 [273.0] °C	
b)一次冷却水圧力	: 設定圧力 ±1 Kg/cm²	[✓]
MC-17 [110.9 kg/cm²G]		

- 3) 船体及び主軸回転数の整定を確認する。
- a) 針路の整定を確認する。(針路: 250 度) [✓]
 - b) 軸回転数がほぼ整定していることを確認する。(回転数: 160.5 回転) [✓]
 - c) 船速がほぼ整定していることを確認する。(船速: 16.7 kt) [✓]
- 4) 下記の計測を行い気象・海象条件の判定を行う。 [✓]

制御室(波高計)	操舵室(日測)	操舵室(ハイブリッド)
有義波高(船首)	波周期(うねり)	海水温度
1.8 m	8 s	28.7 °C
制御室(ソルコ)	(出合周期12.3sec)	
船体動搖加速度(A4)		海 域
片振幅 0.04 g/周期 7 s		[静 穩 通 常 荒 海 高 温]
5)~7) (削除)		

- 8) データ処理装置による収録準備完了を確認する。 [v]
 (AD4収録信号の確認)
- 9) データ処理装置による収録を開始する。 [v]
- 10) 原子炉プラント諸変量(炉出力, SG水位等)が整定していることを確認する。
 (炉出力: 69.0 %) [v]
- 11) 初期状態でのデータ計測を、操舵室(データシートA), 制御室(データシートB)
 にて行う。(A=2回目, B=1回目) [v]
- 12) 次の各出力の主機操縦レバー位置, インプットスピンドルリフト及び蒸気流量を確認する。
 主機操縦レバー位置のマーキングを行う。
 原子炉出力約65%位置 66% [7.4] [3.2 V] [37.7 t/h] [v]
 原子炉出力約70%位置 70% [7.95] [3.75 V] [41.3 t/h] [v]
 原子炉出力約75%位置 76% [8.4] [4.4 V] [44.4 t/h] [v]
- 13) 主機操縦レバー位置を約65%位置とする。原子炉プラントが整定したらデータ
 シートBに従って計測を行う。(2回目) 15:22 [v]
- 14) 主機操縦レバー位置を速やかに約75%位置として原子炉プラントがほぼ安定
 するのを待ち、計測を行う(3回目)。ペンレコーダーにて主蒸気流量及び
 インプットスピンドルリフトの変化時間を評価する。 [v]
- 15) 主機操縦レバー位置を速やかに約65%位置とする。炉プラントがほぼ整定
 したらデータシートBによる計測を行う(4回目)。ペンレコーダーにて主
 蒸気流量及びインプットスピンドルリフトの変化時間を評価する。 [v]
- 16) 主蒸気流量が14)と15)の中間になるようなところで原子炉プラントを整定させ
 その時の原子炉出力, 主機操縦レバー位置及びインプットスピンドルリフトを確認し, 操
 縦レバー位置が先の位置と異なる場合は再度マーキングを行う。 [v]
 蒸気和流量 [41.3 t/h] 主機操縦レバー位置 [7.95]
 炉出力 [70.0 %] インプットスピンドルリフト [3.75 V]
 原子炉出力約65%位置 65% [7.4] [3.25 V] [37.7 t/h]
 原子炉出力約70%位置 70% [7.95] [3.75 V] [41.3 t/h]
 原子炉出力約75%位置 75% [8.4] [4.4 V] [44.4 t/h]
- 17) AD4チャンネルのゲイン調整を行うため, 本番実験と同じ要領で短時間
 (約10分間)の予備実験を行う。 15:32
 i) 試験担当者は, 操作を指示するビデオ装置をスタートさせ指示を開始する。 [v]
 ii) 運転員は, 試験担当者及びビデオ画面からの指示により制御棒操作を行う。 [v]
 iii) 実験中, データ収録装置操作担当者はAD4チャンネル信号のオーバーロード
 を監視し, 各信号に対して適切なゲイン設定を行う。 [v]
 iv) ゲイン設定が終了したら, 試験担当者の合図により予備実験を終了する。 [v]
- 18) 主機操縦レバーを16)のマーキング位置とし, 原子炉プラントの整定を待つ。
 蒸気和流量 [41.2 t/h] 主機操縦レバー位置 [7.90]
 炉出力 [71 %] インプットスピンドルリフト [3.65 V] 15:46
- 19) 原子炉プラントが整定したら, データシートBに従って計測を行う。(2回目) [v]
- 20) データ処理装置による収録を一旦停止し, AD1及びAD4チャンネルの同時ス

- ートにより収録を再開する。(サンプリング間隔は0.1sec) [ν]
- 21) 試験担当者は、操作を指示するビデオ装置をスタートさせ、本番実験の操作の開始を指示する。 [16:49] [ν]
- 22) 操作員は、試験担当者及びビデオ画面からの指示により下記要領にて主機操縦レバー操作を行う。 [ν]
- i) 運転員は、主機操縦レバー操作を、予め指示された操作方向に試験担当者の合図により、操作を開始する。
- ii) 主機操縦レバーの位置が、所定の位置となったら操作を停止する。 [16:51]
- 23) ビデオによる指示が終了したら、原子炉プラントの整定後にデータシートBに従って計測を行う。(3回目) [16:33] [ν]
- 24) データ処理装置による収録を停止する。 [ν]
- 25) 負荷外乱実験を終了する。 [16:35] [ν]

7.2.3 ゆらぎ量の測定

- 1) データ処理装置AD4チャンネルについて、ゲインの再調整を行う。 [ν]
(特に、表1の信号について留意すること。)
- 2) 船体及び主軸回転数の整定を確認する。
- a) 針路の整定を確認する。(針路: 250 度) [ν]
- b) 軸回転数がほぼ整定していることを確認する。(回転数: 163 回転) [ν]
- c) 船速がほぼ整定していることを確認する。(船速: 16.5 kt) LOG [ν]
- 3) 下記の計測を行い気象・海象条件の判定を行いう。 [ν]
- | | | |
|----------|----------|-------------|
| 制御室(波高計) | 操舵室(目測) | 操舵室(ハイブリッド) |
| 有義波高(船首) | 波周期(うねり) | 海水温度 |
| _____ m | _____ s | _____ °C |
- 制御室(±ソレ)
船体動搖加速度(A 4) 海域
片振幅 0.04 g/周期 7 s [静穏 通常 荒海 高温]
- 4) 軸馬力及び原子炉プラント諸変量(炉出力、SG水位等)が整定していることを確認する。(軸馬力: 5600 PS) (炉出力: 70.5 %) [ν]
- 5) データ処理装置による収録準備完了を確認する。
(AD4収録信号及びゲイン調整済みの確認) [ν]
- 6) データ処理装置の3種類の収録を以下に従って行う。 [16:43]
- a) AD4 0.02sec. step 2min [ν]
- b) AD4 0.1sec. step 10min [ν]
- c) AD1 0.5sec. step 50min [ν]
- AD4 0.5sec. step 50min (AD1と同時スタート)
- 7) 実験を終了する。 [ν]

原子炉・一次冷却系応答特性測定データシートA

出力 70% 海域 通常

A : 操舵室計測用

計測日 1991年 9月 16日

		単位	1回目 反応度 外乱	2回目 負荷 外乱	3回目 ゆらぎ 測定
時 刻(現地時間)		hh:mm	14:00	15:20	17:45
位 置	緯度 経度	N E	°° °°	°° °°	°° °°
操 舵 室	海 象	-	Slight	Smooth	Smooth
	相対風向	deg	右 5	左15	0
	相対風速	m/s	6	5	5
	風 波	目視波高 m	0.5	0.4	0.4
		平均波周期 s	2	2	2
		波主方向 deg	60	70	80
	うねり	目視波高 m	1.7	1.7	1.5
		平均波周期 s	8	8	7
		波主方向 deg	80	80	85
	海水温度	°C	28.6	28.7	28.6
	気温	°C	30.5	30.0	30.0
	針路	deg	250	250	250
	船 速	LOG(ハイドリット)	kt	16.5	16.7
		OG (G P S)	kt	15.2	15.6
					15.6

原子炉・一次冷却系応答特性測定データシート B

出力 70 % 海域 通常

(反応度外乱実験2) 計測:

B : 制御室計測用

計測日 1991年9月16日

計測項目 (現地時間)			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
		単位	13:48	14:06	14:44			
SGR-22	No. 1狭域水位 ST-7	%	70.	70.	70.			
	No. 2狭域水位 ST-8	%	70.	70.	70.			
	No. 1給水流量 FW-1	t/h	21.	21.5	21.			
	No. 2給水流量 FW-2	t/h	20.5	20.5	20.5			
	No. 1蒸気流量 ST-1	t/h	20.7	20.5	20.3			
	No. 2蒸気流量 ST-2	t/h	20.	20.	20.			
R-21	No. 1圧力 ST-5	kg/cm ²	45.5	45.5	45.0			
	No. 2圧力 ST-6	kg/cm ²	44.	44.	44.			
制御棒位置	No. 1(Gr. 1)	mm	630	630	630			
	No. 2(Gr. 1)	mm	631	631	631			
	No. 3(Gr. 2)	mm	592	592	589			
	No. 3(Gr. 2)	mm	592	590	586			
主冷却水温度 R-1	No. 1 Tav	°C	273.8	273.8	273.4			
	No. 2 Tav	°C	273.2	273.2	273.0			
加圧器	圧力 R-5 MC-18	kg/cm ²	111.	111.	111.			
	水位 R-6 MC-27	%	46.	46.	46.			
出力領域核計装	平均	%	69.	69.	68.			
主機 タービン	操縦ハンドル位置	-	7.7	7.7	7.7			
	インバットスピンドルリフト	V	3.45	3.45	3.45			
	軸馬力	PS	5520	5400	5080			
	主軸回転数	rpm	159.3	161.6	162.8			

原子炉・一次冷却系応答特性測定データシートB

出力 70 % 海域 通常

(負荷外乱実験2) 計測:

B : 制御室計測用

計測日 1991年9月16日

計測項目 (現地時間)			1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
		単位	15:01	15:45	16:33			
S GR-22 R-22	No. 1狭域水位 ST-7	%	70.	70.	70.			
	No. 2狭域水位 ST-8	%	70.	70.	70.			
	No. 1給水流量 FW-1	t/h	21.0	21.5	21.5			
	No. 2給水流量 FW-2	t/h	20.2	21.0	21.0			
	No. 1蒸気流量 ST-1	t/h	20.5	21.	21.0			
	No. 2蒸気流量 ST-2	t/h	20.0	20.5	20.5			
R-21	No. 1圧力 ST-5	kg/cm ²	45.	45.5	45.			
	No. 2圧力 ST-6	kg/cm ²	44.	44.	44.			
制御棒位置	No. 1(Gr. 1)	mm	630	630	630			
	No. 2(Gr. 1)	mm	631	631	631			
	No. 3(Gr. 2)	mm	589	604	581			
	No. 3(Gr. 2)	mm	586	580	597			
主冷却水温度 R-1	No. 1 Tav	°C	273.3	273.8	273.8			
	No. 2 Tav	°C	273.0	273.2	273.2			
加圧器	圧力 R-5 MC-18	kg/cm ²	111.	111.	111.			
	水位 R-6 MC-27	%	46.	46.	46.			
出力領域核計装	平均	%	69.	71.	70.5			
主機 タービン	操縦ハンドル位置	—	7.7	7.9	7.9			
	インバットスピンドルリフト	V	3.45	3.65	3.6			
	軸馬力	PS	5440	5580	5590			
	主軸回転数	rpm	160.2	164.4	162.2			

4. プラント計装系・船体振動計測系と データ収録条件

本章では、「むつ」の原子炉プラント計装系ならびに船体振動計測系の測定項目、センサの種類と配置、「むつ」データ収録系を説明するとともに、第3回実験におけるデータ収録条件の詳細をまとめた。

4.1 プラント計装系

「むつ」炉プラント計装の主な測定項目をTable 4.1(a)に示す。測定項目に対応するセンサ(変数名)の詳細はTable 4.2(a)~(d)を参照されたい。センサの配置は、中性子束検出器と炉内計装温度計(熱電対)についてはFig. 4.1の通りで、その他のプラント・センサの位置の概略はFig. 4.2の通りである。

Table 4.1(a) プラント計装の主要信号

炉心周り	炉外	中性子束 反応度
	炉内	制御棒位置 炉内計装温度 炉心出入口温度
1次系	ループ	冷却水流量 コールドレグ/ ホットレグ温度 圧力
	加圧器	圧力 気相液相温度 水位
2次系	S G	蒸気流量 蒸気圧力
	タービン	主機蒸気圧力 高圧1段圧力 低圧タービン入口圧力 軸馬力 主軸回転数

Table 4.1(b) 船体振動の主要信号

海象	レーダ波高 有義波高	
船体	x軸方向 y軸方向 z軸方向 x軸回転 y軸回転 z軸回転	前後搖 (Surge) 左右搖 (Sway) 上下搖 (Heave) 横搖 (Roll) 縱搖 (Pitch) 船首搖 (Yaw)
原子炉	格納容器 圧力容器 S G-2 加圧器	R 方向 θ 方向 z軸方向

4.2 船体振動計測系

船体運動の測定を目的とした加速度センサ等は、「むつ」実験再開を機に設置したもので、その主な測定項目はTable 4.1(b)に示す通りである。詳細な変数名はTable 4.2(e)を参照されたい。Fig. 4.3にそれらの位置関係を示す。Fig. 4.3の上図は船体運動の6自由度のうち、上下搖を除く5つのセンサの測定内容を示している。中図はいたるところに配置した上下搖センサと波高センサの位置を示している。下図は原子炉主要機器の振動センサの位置を示している。

原子炉主要機器(原子炉容器、圧力容器、S G、加圧器)の振動センサの向きは注意を要する。

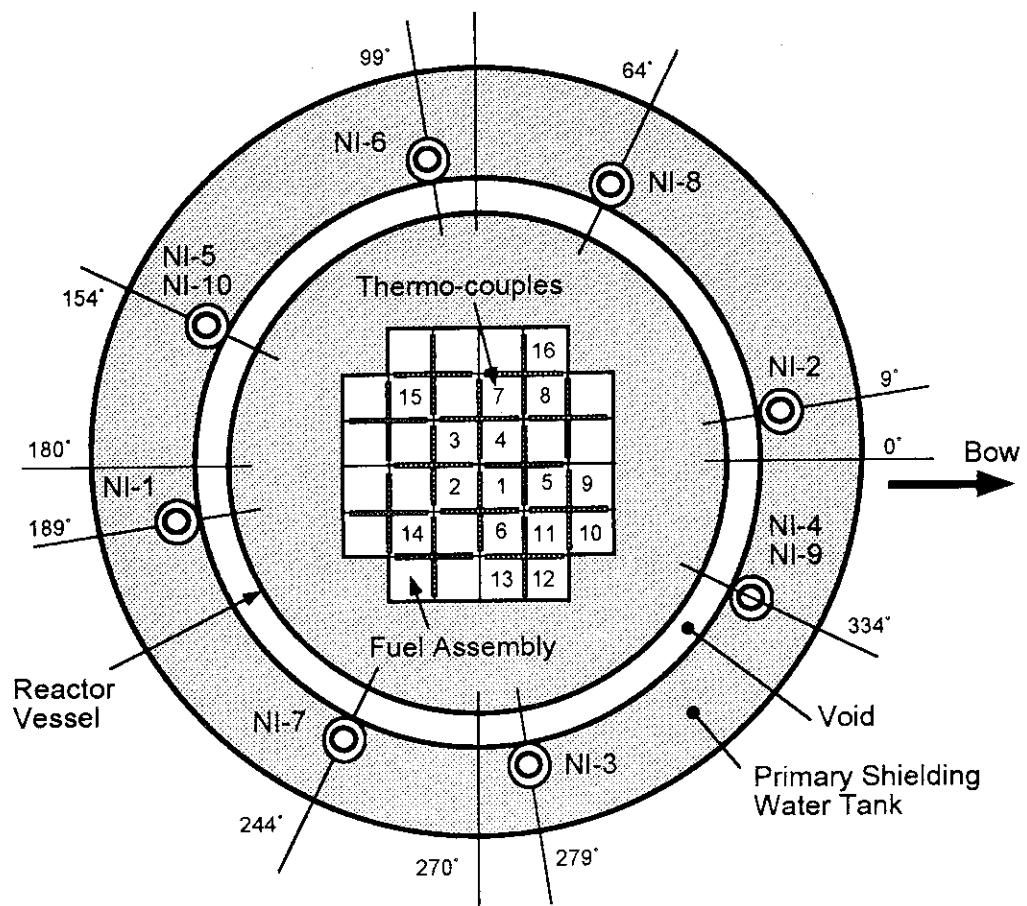


Fig.4.1 中性子検出器と熱電対の配置

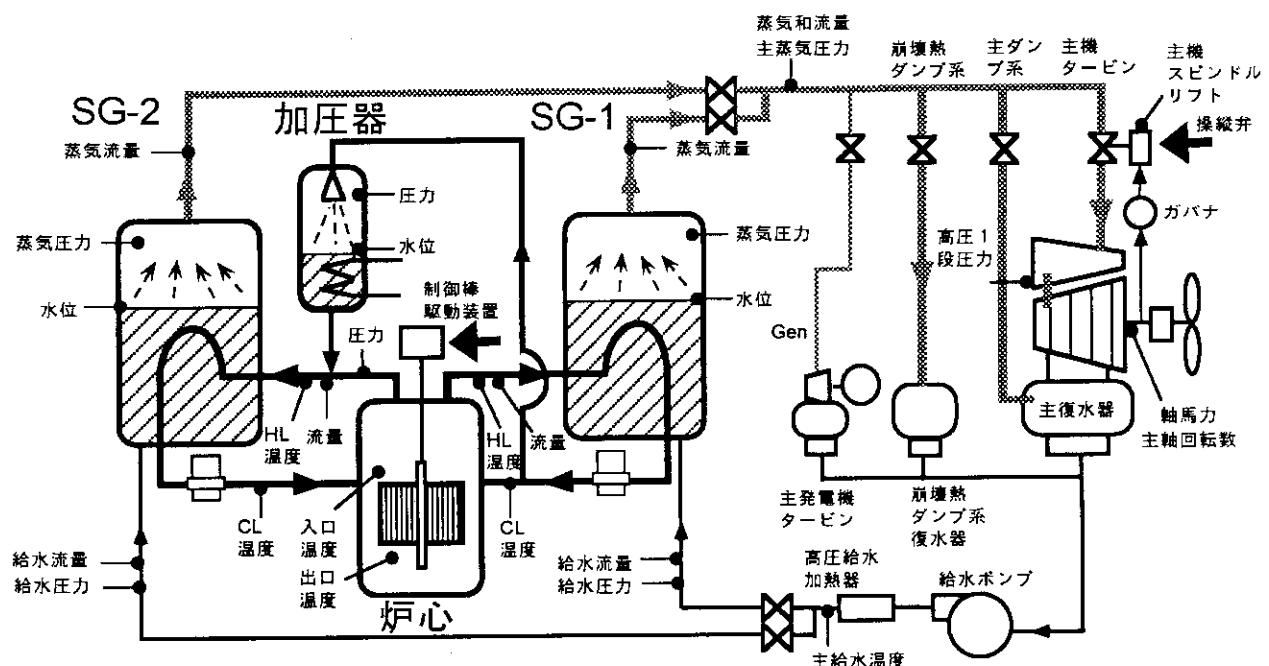


Fig.4.2 プラントセンサの配置

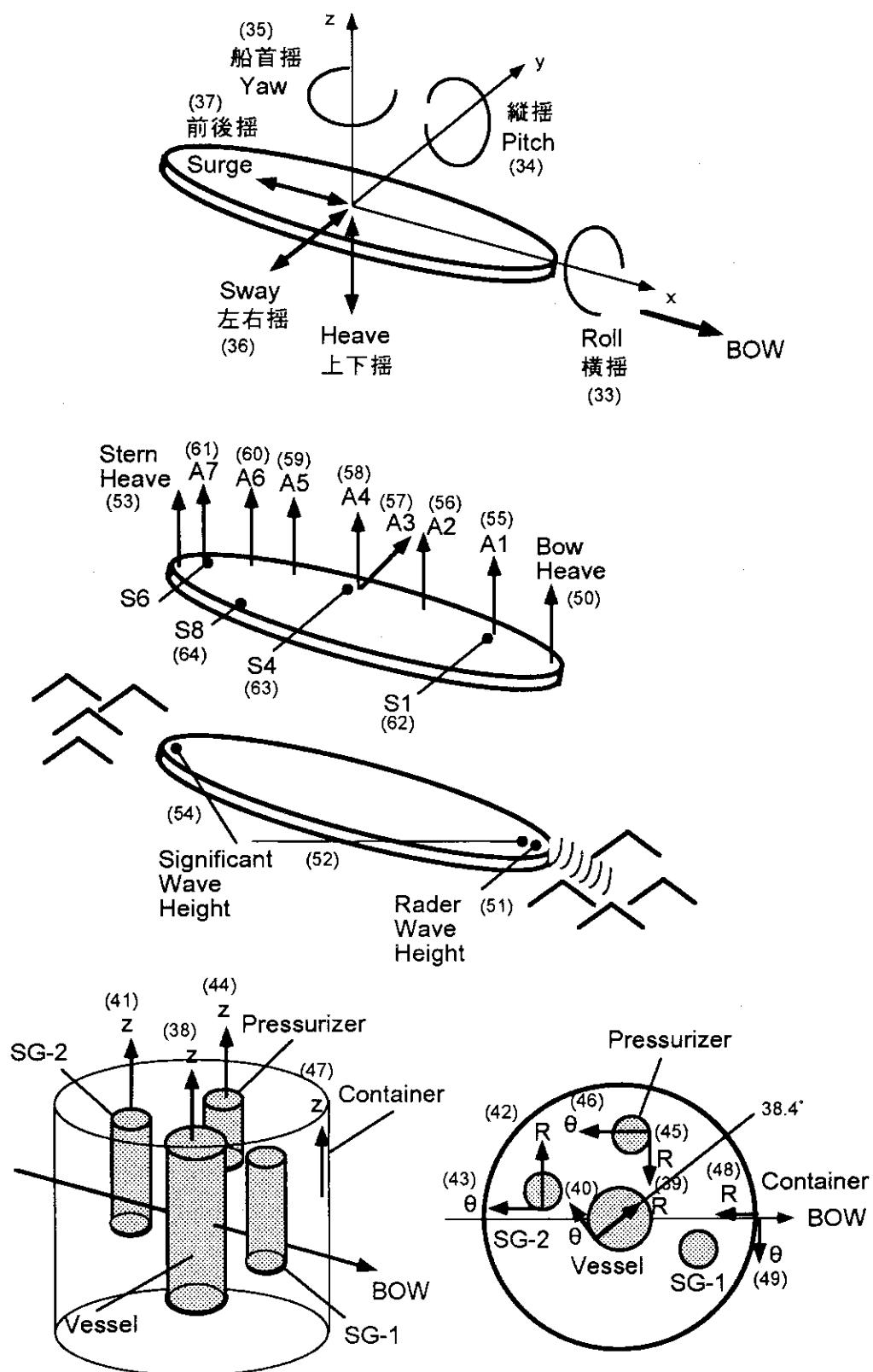


Fig.4.3 船体振動センサーの配置

各機器にはZ方向, R方向とθ方向をカバーする3つのセンサが取り付けられているが, センサの向きは取り付け面を基準とする相対座標系で定義されており, 船体を基準とする座標系から見るとRとθ方向は同じ向きを示さない。なお, 第1回実験と比べて, 加圧器のR方向とθ方向の加速度信号の向きが互いに入れ替わっていることに注意。

4.3 データ収録系

「むつ」データ収録システムは, プラント計装系のプロセス信号, 論理信号, 船体運動計測系の加速度計信号など約150の信号を, 用途別に「非周期」, 「緊急時」, 「炉心管理」ならびに「異常診断・炉雑音」の4系統に分けてデータ収録を行う。動特性同定実験では, DC成分を含むデータは「非周期」系統で, またゆらぎ成分を取り出した炉雑音データは「異常診断・炉雑音」系統で収録した。この2つの系統のシステム構成はFig.4.4の通りである。

システムの信号の流れは次の通りである。まず, プロセス信号, 論理信号, 船体運動計測系の加速度計信号など全信号は一旦信号前処理1に入力される。

信号前処理器1は, 緩衝増幅(Buff), 減衰器(ATT), ローパス・フィルタ(LPF), 増幅器(AMP)から成り, 減衰, 高周波成分の遮断, 増幅を行う。減衰量"ATT", フィルタ周波数"LPF", ゲイン"GAIN"(Table 4.3参照)の3つのパラメータは計算機側からリモート設定できる。出力信号のうち, 主なものは「非周期」データ系統のAD-1に入力される。これと並行して, プロセス信号の任意の32chは雑音分離器に入力され, 加速度信号の主要な32chは直接「異常診断・炉雑音」系統のAD-4に入力される。

雑音分離器は, 計測信号中のDC成分に重畳するゆらぎ成分(炉雑音信号)だけを取り出す処理を行う。加速度信号が純粋なAC信号であるのに対してプラント計装信号の多くはDC成分を含んでいるため, 炉雑音データ収録にはこの前処理が必要になる。内部の増幅器(AMP)のパラメータ"G01"の設定は手動である。雑音分離器の入力信号は, 本来, 信号前処理器1の緩衝増幅器の直後から分岐すべきであるが, 実験後, 全処理後の信号が入力されていたことが分った。このため, 炉雑音信号の高周波域は, 後段の処理に関わらず, 信号前処理1のロー・パス・フィルタにおける低い周波数設定で決まってしまった。

信号前処理器2は, ハイ・パス・フィルタ(HPF), ロー・パス・フィルタ(LPF), 増幅器(AMP), 減衰器(ATT)から成る。フィルタ周波数"HPF", "LPF", ゲイン"G1", 減衰量"G02"は計算機側からリモート設定できるパラメータである。"G1"の設定モードには, 入力信号の振幅レベルから最適値を自動設定するAutoモードと, 予め指定した値をそのまま設定するSlaveモードの2種類がある。また, G02は信号前処理装置2全体を通じてゲインが1/2に圧縮されているため, 固定パラメータである。

AD変換器AD-1およびAD-4は, それぞれ「非周期」および「異常診断・炉雑音」用データをサンプリングするため, 128chならびに64chのAD変換器である。AD-4の入力部には高周波成分によるエリアシングを防止するための64chのロー・パス・フィルタが置かれている。としてサンプリングされる。

本論文では, 「非周期」用データは計測信号中のDC成分が保存されているので, DC信号と呼び, 他方「異常診断・炉雑音」はAC信号と呼ぶことにする。

Mutsu Data Acquisition System

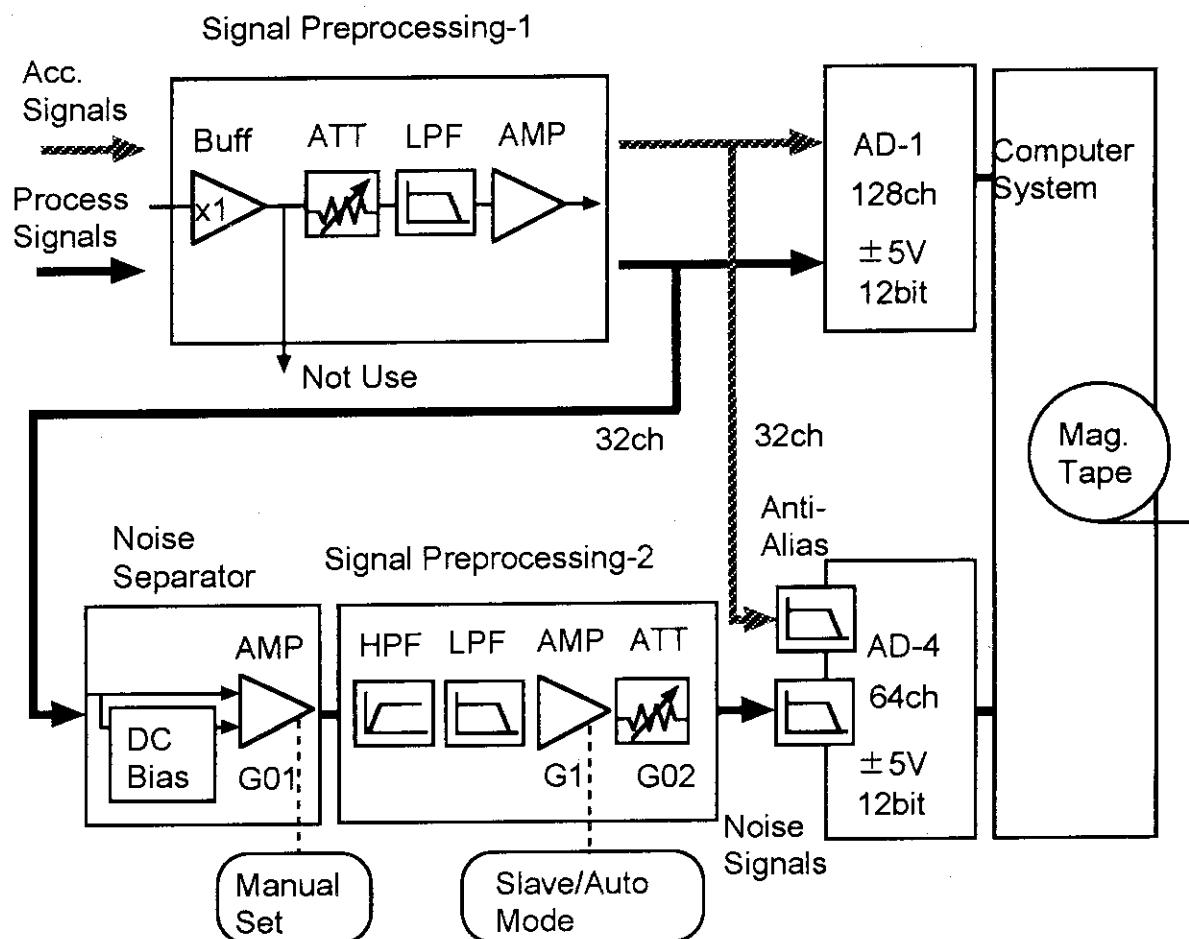


Fig.4.4 「むつ」データ収録システムの構成

4.4 測定変数と収録条件

反応度外乱実験ならびに負荷外乱実験のそれぞれに対し、DC信号128chとAC信号64chを同時に収録した。AC信号のch.17, 18には、第1回実験では炉心出口温度ならびに炉心入口温度を収録していたが、収録系のスパイク雑音によると見られる信号跳躍が見られ、第2回ならびに第3回実験ではこれらの信号に変えて(1)No.1ループ平均温度および(2)核計装出力平均を収録してみた。

DC信号とAC信号の収録データは計算機磁気ディスク上に別々のファイルとして格納される。実験後、これらを16inch/3600 feetのデジタル磁気テープに複写した。各ファイルの収録条件をTable 4.6に示す。

収録時の測定レンジ、前処理1の設定条件ならびにDC信号の較正係数をTable 4.2(a)～(d)(プラント・センサ)、Table 4.2(e)(船体運動測定系の加速度計等)に示す。また、AC信号の前処理条件ならびに較正係数を実験別にTable 4.3～4.5に示す。

磁気テープ・ファイルの各信号データ(サンプル値)は、AD変換器の入力レンジ士5Vに対して有効桁数12bitの整数に変換し、2byte整数(-2047～2048)に直したものである。サンプル値からAD変換器の入力電圧への換算は5V/2048を乗じれば良く、さらにセンサにおける物理量への換算は、信号前処理条件を考慮した較正係数を用いて次式で計算できる。

(1) DC信号の場合

$$(物理値) = (2\text{byte 整数}) \times \frac{5V}{2048} \times (\text{CAL}) + (\text{DC}) \quad \dots \dots \dots \quad (4.1)$$

ここで、「CAL」と「DC」はTable 4.2(a)～(e)記載の係数。

(2) AC信号の場合

$$(物理値) = (2\text{byte 整数}) \times \frac{5V}{2048} \times (\text{CAL}) \quad \dots \dots \dots \quad (4.2)$$

ここで、「CAL」はTable 4.3～4.5記載の係数。

Table 4.2(a) センサの測定レンジ、前処理1の設定条件とDC信号の較正係数(実験に関わらず一定)

AD4 ch.	AD1 ch.	前処 理1 ch.	変数名	(工学2-工学1) (電圧2-電圧1)	GAIN	LPF	ATT	Total	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL+DC)		
					Hz			Gain	CAL	DC	Unit
	22	02-06	線源領域計数率 NI-1	(1.e+6)/(-10-0)	50	10	0.01	0.5	-5e+5	0.0	cps
	23	02-07	線源領域計数率 NI-2	"	50	10	0.01	0.5	-5e+5	0.0	cps
	92	06-06	線源領域起動率 NI-1	(8+2)/(-8-2)	50	10	0.01	0.5	-0.5	-1.0	DPM
	93	06-07	線源領域起動率 NI-2	"	50	10	0.01	0.5	-0.5	-1.0	DPM
	24	02-08	中間領域中性子束レベル NI-4	(1.e-3)/(-10-0)	50	10	0.01	0.5	-5e-3	0.0	Amp
	25	02-09	中間領域中性子束レベル NI-5	"	50	10	0.01	0.5	-5e-3	0.0	Amp
	94	06-08	中間領域起動率 NI-4	(8+2)/(-8-2)	50	10	0.01	0.5	-0.5	-1.0	DPM
	95	06-09	中間領域起動率 NI-5	"	50	10	0.01	0.5	-0.5	-1.0	DPM
6	26	02-10	出力領域出力レベルNI-7	(150-0)/(10-0.25)	50	10	0.01	0.5	30.76	-3.845	%
7	27	02-11	出力領域出力レベルNI-8	"	50	10	0.01	0.5	30.76	-3.845	%
8	28	02-12	出力領域出力レベルNI-9	"	50	10	0.01	0.5	30.76	-3.845	%
9	29	02-13	出力領域出力レベルNI-10	"	50	10	0.01	0.5	30.76	-3.845	%
	45	03-13	CIC予備チャンネル出力	(100-0)/(10-0)	50	10	0.01	0.5	5.0	0.0	%
13	68	05-02	核計装出力平均	(150-0)/(10-0.25)	50	10	0.01	0.5	30.76	-3.845	%
	72	05-04	自動制御 ε 信号	(15+15)/(5-1)	1	10	1	1.0	7.5	-7.5	°C
16	46	03-14	反応度計出力	(50+50)/(10+10)	50	10	0.01	0.5	10.0	0.0	pcm
10	30	02-14	No. 1制御棒位置	(1074-0)/(10-0)	50	10	0.01	0.5	214.8	0.0	mm
11	31	02-15	No. 2制御棒位置	"	50	10	0.01	0.5	214.8	0.0	mm
12	32	02-16	No. 3制御棒位置	"	50	10	0.01	0.5	214.8	0.0	mm
13	33	03-01	No. 4制御棒位置	"	50	10	0.01	0.5	214.8	0.0	mm
	48	03-16	炉内計装温度計 IC-1	(284-264)/0.2877	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	49	04-01	炉内計装温度計 IC-2	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	50	04-02	炉内計装温度計 IC-3	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	51	04-03	炉内計装温度計 IC-4	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	52	04-04	炉内計装温度計 IC-5	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	53	04-05	炉内計装温度計 IC-6	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	54	04-06	炉内計装温度計 IC-7	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	55	04-07	炉内計装温度計 IC-8	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	56	04-08	炉内計装温度計 IC-9	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	57	04-09	炉内計装温度計 IC-10	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	58	04-10	炉内計装温度計 IC-11	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	59	04-11	炉内計装温度計 IC-12	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C

Table 4.2(b) センサの測定レンジ、前処理1の設定条件とDC信号の較正係数(実験に関わらず一定)

AD4 ch.	AD1 ch.	前処理1 ch.	変数名	(工学2-工学1) (電圧2-電圧1)	GAIN	LPF	ATT	Total Gain	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL+DC)		
					Hz				CAL	DC	Unit
60 61 62 63 64 65	04-12	炉内計装温度計 IC-13	(284-264)/0.2877	"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	04-13	炉内計装温度計 IC-14		"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	04-14	炉内計装温度計 IC-15		"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	04-15	炉内計装温度計 IC-16		"	1	10	1	1.0	69.52	+3.196	°C
	04-16	炉心出口温度 IC-19		(284-264)/0.2877	1	10	1	1.0	69.52	+264.0	°C
	05-01	炉心入口温度 IC-20		"	1	10	1	1.0	69.52	+264.0	°C
25	<input type="checkbox"/>	07-15 No.1ループ1次冷却水流量(前)	(100-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	(25.0 -25.0 %)*			
	<input type="checkbox"/>	10 01-10 No.1ループ1次冷却水流量	"	1	10	1	1.0	25.0 -25.0 %			
26	<input type="checkbox"/>	07-16 No.2ループ1次冷却水流量(前)	(100-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	(25.0 -25.0 %)*			
	<input type="checkbox"/>	11 01-11 No.2ループ1次冷却水流量	"	1	10	1	1.0	25.0 -25.0 %			
2	12 01-12	No.1ループコールドレグ温度	(350-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	87.5 -87.5	°C		
3	13 01-13	No.2ループコールドレグ温度	"	1	10	1	1.0	87.5 -87.5	°C		
4	14 01-14	No.1ループホットレグ温度	(315-245)/(5-1)	1	10	1	1.0	17.5 +227.5	°C		
5	15 01-15	No.2ループホットレグ温度	"	1	10	1	1.0	17.5 +227.5	°C		
16	01-16	No.1ループ平均温度	(305-245)/(5-1)	1	10	1	1.0	15.0 +230	°C		
17	02-01	No.2ループ平均温度	"	1	10	1	1.0	15.0 +230	°C		
18	02-02	ループ平均温度 競壳後	"	1	10	1	1.0	15.0 +230	°C		
20	02-04	No.1ループ温度差	(25+5)/(5-1)	1	10	1	1.0	7.5 -12.5	°C		
21	02-05	No.2ループ温度差	"	1	10	1	1.0	7.5 -12.5	°C		
19	02-03	1次冷却ループ圧力	(150-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	37.5 -37.5	atG		
22	<input type="checkbox"/>	07-12 加圧器圧力(補正前)	(150-75)/(5-1)	1	10	1	1.0	(18.75+56.25atG)*			
	<input type="checkbox"/>	47 03-15 加圧器圧力	"	1	10	1	1.0	18.75 +56.25 atG			
88	06-03	加圧器気相温度	(400-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	100 -100	°C		
89	06-04	加圧器液相温度	"	1	10	1	1.0	100 -100	°C		
23	90 06-05	加圧器水位	(100-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	25.0 -25.0	%		
	<input type="checkbox"/>	07-13 加圧器水位1(補正前)	*(140-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	(25.0 -25.0 %)*			
24	<input type="checkbox"/>	07-14 加圧器水位2(補正前)	*(140-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	(25.0 -25.0 %)*			
27	<input type="checkbox"/>	08-01 No.1ループ蒸気流量(補正前)	(45-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	(11.25-11.25t/h)*			
	<input type="checkbox"/>	36 03-04 No.1 SG蒸気流量	"	1	10	1	1.0	11.25 -11.25 t/h			
28	<input type="checkbox"/>	08-02 No.2ループ蒸気流量(補正前)	(45-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	(11.25-11.25t/h)*			
	<input type="checkbox"/>	37 03-05 No.2 SG蒸気流量	"	1	10	1	1.0	11.25 -11.25 t/h			
69	05-03	蒸気和流量	(90-0)/(5-1)	1	10	1	1.0	22.5 -22.5	t/h		

Table 4.2(c) センサの測定レンジ, 前処理1の設定条件とDC信号の較正係数(実験に関わらず一定)

AD4 ch.	AD1 ch.	前処理1 ch.	変数名	(工学2-工学1) (電圧2-電圧1)	GAIN LPF ATT	Total Gain	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL+DC)		
					Hz		CAL	DC	Unit
14	43	03-11	No. 1 S G 蒸気圧力	(150-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	37.5	-37.5	atG
15	44	03-12	No. 2 S G 蒸気圧力	"	1 10 1	1.0	37.5	-37.5	atG
	3	01-03	主蒸気圧力	(100-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	25	-25	atG
1	4	01-04	高圧1段圧力	(50-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	12.5	-12.5	atG
	7	01-07	低圧タービン入口圧力	(5+1)/(5-1)	1 10 1	1.0	1.5	-2.5	atG
21	75	05-07	主機スピンドルリフト	(10-0)/(10-0)	50 10 0.01	0.5	2.0	0.0	Volt
19	1	01-01	軸馬力	(12000-0)/(0.1-0)	50 10 1	50.0	2400	0.0	PS
20	2	01-02	主軸回転数	(200-0)/(8-0)	50 10 0.01	0.5	50	0.0	rpm
	5	01-05	低圧抽出流量	(4-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	1.0	-1.0	m³/h
	9	01-09	主復水器上部真空	(760-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	190	-190	mmHg
	40	03-08	主給水温度	(200-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	50	-50	℃
31	□	08-05	No. 1 S G ナロー水位(補正前)	(100-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	(25.0-25.0 %)*		
□	41	03-09	No. 1 S G ナロー水位	"	1 10 1	1.0	25.0	-25.0	%
32	□	08-06	No. 2 S G ナロー水位(補正前)	(100-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	(25.0-25.0 %)*		
□	42	03-10	No. 2 S G ナロー水位	"	1 10 1	1.0	25.0	-25.0	%
	73	05-05	No. 1 S G WIDE水位	"	1 10 1	1.0	25.0	-25.0	%
	74	05-06	No. 2 S G WIDE水位	"	1 10 1	1.0	25.0	-25.0	%
	38	03-06	No. 1 S G 給水圧力	(100-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	25.0	-25.0	atG
	39	03-07	No. 2 S G 給水圧力	"	1 10 1	1.0	25.0	-25.0	atG
29	□	08-03	No. 1 ループ給水流量(補正前)	(45-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	(11.25-11.25t/h)*		
□	34	03-02	No. 1 S G 給水流量	"	1 10 1	1.0	11.25	-11.25	t/h
30	□	08-04	No. 2 ループ給水流量(補正前)	(45-0)/(5-1)	1 10 1	1.0	(11.25-11.25t/h)*		
□	35	03-03	No. 2 S G 給水流量	"	1 10 1	1.0	11.25	-11.25	t/h
	76	05-08	No. 1 MCP 加速度出力 Z	(0.01-0)/(1-0)	10 10 1	10.0	0.001	0.0	mmpp
	77	05-09	No. 1 MCP 加速度出力 X	"	10 10 1	10.0	0.001	0.0	mmpp
	78	05-10	No. 1 MCP 加速度出力 Y	"	10 10 1	10.0	0.001	0.0	mmpp
	79	05-11	No. 2 MCP 加速度出力 Z	"	10 10 1	10.0	0.001	0.0	mmpp
	80	05-12	No. 2 MCP 加速度出力 X	"	10 10 1	10.0	0.001	0.0	mmpp
	81	05-13	No. 2 MCP 加速度出力 Y	"	10 10 1	10.0	0.001	0.0	mmpp
	6	01-06	母線電圧	(600-0)/(5-0)	100 10 0.01	1.0	120	0.0	V
	8	01-08	母線電流	(5618-0)/(5-0)	100 10 0.01	1.0	1123.6	0.0	Amp
	82	05-14	母線電力	(3375-0)/(0.05-0)	100 10 1	100	675	0.0	kW

Table 4.2(d) センサの測定レンジ、前処理1の設定条件とDC信号の較正係数(実験に関わらず一定)

AD4 ch.	AD1 ch.	前処理1 ch.	変数名	(工学2-工学1) (電圧2-電圧1)	GAIN Hz	LPF ATT	Total Gain	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL+DC)		
								CAL	DC	Unit
	66	L01	(No. 1 MCP 電源オン信号)	Logic						
	67	L02	(No. 2 MCP 電源オン信号)	Logic						
	70	L03	(No. 1主蒸気隔離弁開)	Logic						
	71	L04	(No. 2主蒸気隔離弁開)	Logic						
	83	L05	(主ダンプ弁開閉信号)	Logic						
	84	05-15	No. 1ループ低圧スカラム設定値	(150-75)/(5-1)	1	10 1	1.0	18.75	56.5	atG
	85	05-16	No. 2ループ低圧スカラム設定値	〃	1	10 1	1.0	18.75	56.5	atG
	86	06-01	No. 1ループ高温スカラム設定値	(305-235)/(5-1)	1	10 1	1.0	17.5	217.5	°C
	87	06-02	No. 2ループ高温スカラム設定値	〃	1	10 1	1.0	17.5	217.5	°C
	91	L06	(主機トリップ信号)	Logic	1	10 1				

Table 4.2(e) センサの測定レンジ, 前処理1の設定条件とDC信号の較正係数(実験に関わらず一定)

AD4 ch.	AD1 ch.	前処理1 ch.	変数名	(工学2-工学1) (電圧2-電圧1)	GAIN	LPF	ATT	Total Gain	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL+DC)		
					Hz				CAL	DC	Unit
33	96	08-07	ロール角度	(30+30)/(10+10)	50	10	0.01	0.5	6.0	0.0	deg
34	97	08-08	ピッチ角度	"	50	10	0.01	0.5	6.0	0.0	deg
35	98	08-09	ヨー角速度	(10+10)/(10+10)	50	10	0.01	0.5	2.0	0.0	deg/s
36	99	08-10	水平面左右方向加速度	(1+1)/(10+10)	50	10	0.01	0.5	0.2	0.0	G
37	100	08-11	水平面前後方向加速度	"	50	10	0.01	0.5	0.2	0.0	G
38	101	08-12	圧力容器 Z 方向加速度	(1-0)/(2.013-0)	2	10	1	2.0	.2484	0.0	G
39	102	08-13	圧力容器 R 方向加速度	(1-0)/(2.005-0)	2	10	1	2.0	.2493	0.0	G
40	103	08-14	圧力容器 θ 方向加速度	(1-0)/(1.988-0)	2	10	1	2.0	.2515	0.0	G
41	104	08-15	No. 2 SG Z 方向加速度	(1-0)/(2.010-0)	2	10	1	2.0	.2488	0.0	G
42	105	08-16	No. 2 SG R 方向加速度	(1-0)/(1.986-0)	2	10	1	2.0	.2518	0.0	G
43	106	09-01	No. 2 SG θ 方向加速度	(1-0)/(1.980-0)	2	10	1	2.0	.2526	0.0	G
44	107	09-02	加圧器 Z 方向加速度	(1-0)/(1.995-0)	2	10	1	2.0	.2507	0.0	G
45	108	09-03	加圧器 R 方向加速度	(1-0)/(1.996-0)	2	10	1	2.0	.2505	0.0	G
46	109	09-04	加圧器 θ 方向加速度	(1-0)/(1.981-0)	2	10	1	2.0	.2524	0.0	G
47	110	09-05	格納容器 Z 方向加速度	(1-0)/(1.974-0)	2	10	1	2.0	.2533	0.0	G
48	111	09-06	格納容器 R 方向加速度	(1-0)/(2.014-0)	2	10	1	2.0	.2483	0.0	G
49	112	09-07	格納容器 θ 方向加速度	(1-0)/(2.017-0)	2	10	1	2.0	.2479	0.0	G
50	113	09-08	船首上下変位	(10-0)/(1-0)	5	10	1	5.0	2.0	0.0	m
51	114	09-09	船首レーダ波高	(10-0)/(1-0)	5	10	1	5.0	2.0	0.0	m
52	115	09-10	船首実波高	(10-0)/(5-0)	1	10	1	1.0	2.0	0.0	m
53	116	10-13	船尾上下変位	(10-0)/(1-0)	5	10	1	5.0	2.0	0.0	m
54	117	10-15	船尾実波高	(10-0)/(5-0)	1	10	1	1.0	2.0	0.0	m
55	118	09-13	上甲板上下加速度 A1	(1-0)(2.5-0)	2	10	1	2.0	0.2	0.0	G
56	119	09-14	上甲板上下加速度 A2	"	2	10	1	2.0	0.2	0.0	G
57	120	09-15	上甲板左右加速度 A3	"	2	10	1	2.0	0.2	0.0	G
58	121	09-16	上甲板上下加速度 A4	"	2	10	1	2.0	0.2	0.0	G
59	122	10-01	上甲板上下加速度 A5	"	2	10	1	2.0	0.2	0.0	G
60	123	10-02	上甲板上下加速度 A6	"	2	10	1	2.0	0.2	0.0	G
61	124	10-03	上甲板上下加速度 A7	"	2	10	1	2.0	0.2	0.0	G
62	125	10-04	上甲板曲げ歪 S1	(500-0)/(2.5-0)	2	10	1	2.0	100	0.0	μm
63	126	10-07	上甲板曲げ歪 S4	"	2	10	1	2.0	100	0.0	μm
64	127	10-09	上甲板曲げ歪 S6	"	2	10	1	2.0	100	0.0	μm
64	128	10-11	上甲板曲げ歪 S8	"	2	10	1	2.0	100	0.0	μm

Table 4.3 A C信号の前処理条件と較正係数：第3回反応度外乱実験(炉出力70%，通常海域) (M91971)

AD4 ch.	前処理2 ch.	変数名	G01	G02	HPF	LPF	G1			Total Gain	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL)		
							Hz	Slv	M		CAL(DC)	CAL(AC)	UNIT
1.	1-01	高圧1段圧力	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	12.5	0.25	atG
2.	1-02	No.1ループコールドレグ温度	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	87.5	1.75	℃
3.	1-03	No.2ループコールドレグ温度	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	87.5	1.75	℃
4.	1-04	No.1ループホットレグ温度	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	17.5	0.35	℃
5.	1-05	No.2ループホットレグ温度	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	17.5	0.35	℃
6.	1-06	出力領域出力レベルNI-7	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	30.76	1.2304	%
7.	1-07	出力領域出力レベルNI-8	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	30.76	1.2304	%
8.	1-08	出力領域出力レベルNI-9	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	30.76	1.2304	%
9.	1-09	出力領域出力レベルNI-10	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	30.76	1.2304	%
10.	1-10	No.1制御棒位置	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	214.8	4.296	mm
11.	1-11	No.2制御棒位置	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	214.8	4.296	mm
12.	1-12	No.3制御棒位置	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	214.8	4.296	mm
13.	1-13	No.4制御棒位置	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	214.8	4.296	mm
14.	1-14	No.1SG蒸気圧力	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	37.5	0.75	atG
15.	1-15	No.2SG蒸気圧力	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	37.5	0.75	atG
16.	1-16	反応度計出力	1	1/2	F	50 20	S	10		1.0	10.0	10.0	pcm
17.	2-01	No.1ループ平均温度	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	15.0	0.3	℃
18.	2-02	核計装出力平均	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	30.76	1.2304	%
19.	2-03	軸馬力	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	2400	96	ps
20.	2-04	主軸回転数	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	50.0	1	rpm
21.	2-05	主機スピンドルリフト	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	2.0	0.04	v
22.	2-06	加圧器圧力(補正前)	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	18.75	0.375	atG
23.	2-07	加圧器水位	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	25.0	0.5	%
24.	2-08	加圧器水位2(補正前)	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	25.0	0.5	%
25.	2-09	No.1ループ1次冷却水流量(前)	1	1/2	F	50 20	S	100		10.0	25.0	2.5	%
26.	2-10	No.2ループ1次冷却水流量(前)	1	1/2	F	50 20	S	100		10.0	25.0	2.5	%
27.	2-11	No.1ループ蒸気流量(補正前)	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	11.25	0.225	t/h
28.	2-12	No.2ループ蒸気流量(補正前)	1	1/2	F	50 20	A	100		50.0	11.25	0.225	t/h
29.	2-13	No.1ループ給水流量(補正前)	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	11.25	0.45	t/h
30.	2-14	No.2ループ給水流量(補正前)	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	11.25	0.45	t/h
31.	2-15	No.1SGナロー水位(補正前)	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	25.0	1.0	%
32.	2-16	No.2SGナロー水位(補正前)	1	1/2	F	50 50	S	100		25.0	25.0	1.0	%

Table 4.4 AC信号の前処理条件と較正係数：第3回負荷外乱実験(炉出力70%，通常海域) (M91973)

AD4 ch.	前処理2 ch.	変数名	G01	G02	HPF	LPF	G1			Total Gain	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL)		
							Hz	Slv	M		CAL(DC)	CAL(AC)	UNIT
1.	1-01	高圧1段圧力	1	1/2	F	50	20	S	100	10.0	12.5	1.25	atG
2.	1-02	No.1ループコールドレグ温度	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	87.5	1.75	°C
3.	1-03	No.2ループコールドレグ温度	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	87.5	1.75	°C
4.	1-04	No.1ループホットレグ温度	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	17.5	0.35	°C
5.	1-05	No.2ループホットレグ温度	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	17.5	0.35	°C
6.	1-06	出力領域出力レベルNI-7	1	1/2	F	50	50	S	100	25.0	30.76	1.2304	%
7.	1-07	出力領域出力レベルNI-8	1	1/2	F	50	50	S	100	25.0	30.76	1.2304	%
8.	1-08	出力領域出力レベルNI-9	1	1/2	F	50	50	S	100	25.0	30.76	1.2304	%
9.	1-09	出力領域出力レベルNI-10	1	1/2	F	50	50	S	100	25.0	30.76	1.2304	%
10.	1-10	No.1制御棒位置	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	214.8	4.296	mm
11.	1-11	No.2制御棒位置	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	214.8	4.296	mm
12.	1-12	No.3制御棒位置	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	214.8	4.296	mm
13.	1-13	No.4制御棒位置	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	214.8	4.296	mm
14.	1-14	No.1SG蒸気圧力	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	37.5	0.75	atG
15.	1-15	No.2SG蒸気圧力	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	37.5	0.75	atG
16.	1-16	反応度計出力	1	1/2	F	50	2	S	20	1.0	10.0	10.0	pcm
17.	2-01	No.1ループ平均温度	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	15.0	0.3	°C
18.	2-02	核計装出力平均	1	1/2	F	50	50	S	100	25.0	30.76	1.2304	%
19.	2-03	軸馬力	1	1/2	F	50	10	S	100	5.0	2400	480	ps
20.	2-04	主軸回転数	1	1/2	F	50	20	S	100	10.0	50.0	5	rpm
21.	2-05	主機スピンドルリフト	1	1/2	F	50	10	S	100	5.0	2.0	0.4	V
22.	2-06	加圧器圧力(補正前)	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	18.75	0.375	atG
23.	2-07	加圧器水位	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	25.0	0.5	%
24.	2-08	加圧器水位2(補正前)	1	1/2	F	50	20	A	100	50.0	25.0	0.5	%
25.	2-09	No.1ループ1次冷却水流量(前)	1	1/2	F	50	20	S	50	10.0	25.0	2.5	%
26.	2-10	No.2ループ1次冷却水流量(前)	1	1/2	F	50	20	S	100	10.0	25.0	2.5	%
27.	2-11	No.1ループ蒸気流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S	50	10.0	11.25	1.125	t/h
28.	2-12	No.2ループ蒸気流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S	50	10.0	11.25	1.125	t/h
29.	2-13	No.1ループ給水流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S	100	10.0	11.25	1.125	t/h
30.	2-14	No.2ループ給水流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S	50	10.0	11.25	1.125	t/h
31.	2-15	No.1SGナロー水位(補正前)	1	1/2	F	50	20	S	100	10.0	25.0	2.5	%
32.	2-16	No.2SGナロー水位(補正前)	1	1/2	F	50	20	S	100	10.0	25.0	2.5	%

Table 4.5 A C 信号の前処理条件と較正係数：第3回実験自然雑音測定(炉出力70%，通常海域)
(M91975～M91977)

AD4 ch.	前処 理2 ch.	変数名	G01 G02		HPF Hz	LPF S1v	G1 M Aut	Total Gain	CALIBRATION (Phy=VoltxCAL)			
									CAL(DC)	CAL(AC)	UNIT	
1.	1-01	高圧1段圧力	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	12.5	1.25	atG
2.	1-02	No.1ループコールドレグ温度	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	87.5	8.75	°C
3.	1-03	No.2ループコールドレグ温度	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	87.5	8.75	°C
4.	1-04	No.1ループホットレグ温度	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	17.5	1.75	°C
5.	1-05	No.2ループホットレグ温度	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	17.5	1.75	°C
6.	1-06	出力領域出力レベルNI-7	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	30.76	3.076	%
7.	1-07	出力領域出力レベルNI-8	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	30.76	3.076	%
8.	1-08	出力領域出力レベルNI-9	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	30.76	3.076	%
9.	1-09	出力領域出力レベルNI-10	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	30.76	3.076	%
10.	1-10	No.1制御棒位置	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	214.8	21.48	mm
11.	1-11	No.2制御棒位置	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	214.8	21.48	mm
12.	1-12	No.3制御棒位置	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	214.8	21.48	mm
13.	1-13	No.4制御棒位置	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	214.8	21.48	mm
14.	1-14	No.1SG蒸気圧力	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	37.5	3.75	atG
15.	1-15	No.2SG蒸気圧力	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	37.5	3.75	atG
16.	1-16	反応度計出力	1	1/2	F	50	2	S 100	1.0	10.0	10.0	p/cm
17.	2-01	No.1ループ平均温度	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	15.0	1.5	°C
18.	2-02	核計装出力平均	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	30.76	3.076	%
19.	2-03	軸馬力	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	2400	240	ps
20.	2-04	主軸回転数	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	50.0	5.0	rpm
21.	2-05	主機スピンドルリフト	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	2.0	0.2	V
22.	2-06	加圧器圧力(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	18.75	1.875	atG
23.	2-07	加圧器水位	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	25.0	2.5	%
24.	2-08	加圧器水位2(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	25.0	2.5	%
25.	2-09	No.1ループ1次冷却水流量(前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	25.0	2.5	%
26.	2-10	No.2ループ1次冷却水流量(前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	25.0	2.5	%
27.	2-11	No.1ループ蒸気流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	11.25	1.125	t/h
28.	2-12	No.2ループ蒸気流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	11.25	1.125	t/h
29.	2-13	No.1ループ給水流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	11.25	1.125	t/h
30.	2-14	No.2ループ給水流量(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	11.25	1.125	t/h
31.	2-15	No.1SGナロー水位(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	25.0	2.5	%
32.	2-16	No.2SGナロー水位(補正前)	1	1/2	F	50	20	S 100	10.0	25.0	2.5	%

Table 4.6 データ収録条件：第3回動特性同定実験(炉出力70%，通常海域)

Data Name	Title	Tape Vol.	File No.	Tape FName	Disk FName	Test No.	Date/ Time	ADC	Sampling/Recording Condition
M91971	原子炉1次系 応答特性測定 反応度外乱 (制御棒2本駆動) A C信号	RD2	1	MTDO:0 : MTDO:5	AD-4- 91/9/16 11:11	3V0084	1991.09/16 11:11:--	AD-4	DT=0.1s, N=19, 200 T=32:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=75 blk REC=256 pnt/ch
M91972	原子炉1次系 応答特性測定 反応度外乱 (制御棒2本駆動) D C信号	RD2	2	MTDO:6 : MTDO:11	AD-1- 91/9/16 11:11	3V00 139	1991.09/16 11:11:--	AD-1	DT=0.1s, N=19, 800 T=33:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=155 blk REC=128 pnt/ch
M91973	原子炉1次系 応答特性測定 負荷外乱 (主機操縦弁操作) A C信号	RD2	3	MTDO:12 : MTDO:17	AD-4- 91/9/16 12:47	3V0085	1991.09/16 12:47:--	AD-4	DT=0.1s, N=26, 400 T=44:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=104 blk REC=256 pnt/ch
M91974	原子炉1次系 応答特性測定 負荷外乱 (主機操縦弁操作) D C信号	RD2	4	MTDO:18 : MTDO:23	AD-1- 91/9/16 12:47	3V00 141	1991.09/16 12:47:--	AD-1	DT=0.1s, N=27, 000 T=45:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=211 blk REC=128 pnt/ch
M91975	原子炉1次系 応答特性測定 自然状態の雑音 (その1) A C信号	RD2	5	MTDO:24 : MTDO:29	AD-4- 91/9/16 13:44	3V0086	1991.09/16 13:44:--	AD-4	DT=0.02s, N= 6, 000 T=02:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=24 blk REC=256 pnt/ch
M91976	原子炉1次系 応答特性測定 自然状態の雑音 (その2) A C信号	RD2	6	MTDO:30 : MTDO:35	AD-4- 91/9/16 13:47	3V0087	1991.09/16 13:47:--	AD-4	DT=0.1s, N= 6, 000 T=10:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=24 blk REC=256 pnt/ch
M91977	原子炉1次系 応答特性測定 自然状態の雑音 (その3) A C信号	RD2	7	MTDO:36 : MTDO:41	AD-4- 91/9/16 13:58	3V0088	1991.09/16 13:58:--	AD-4	DT=0.5s, N= 6, 240 T=52:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=25 blk REC=256 pnt/ch
M91978	原子炉1次系 応答特性測定 自然状態の雑音 (その3) D C信号	RD2	8	MTDO:42 : MTDO:47	AD-1- 91/9/16 13:58	3V00 143	1991.09/16 13:58:--	AD-1	DT=0.5s, N= 6, 360 T=53:00 MTBSIZ=8192 FW NBL=50 blk REC=128 pnt/ch

5. 測定結果

5.1 信号波形

第3回実験では、第1回、第2回実験と同様にDC信号128chとAC信号64chを収録した。実験の傾向と各信号の挙動を見るためまず各収録信号の信号波形図を示す。図の内訳は次の通りである。

Fig. 5.1(a)～(l) ; 反応度外乱実験のAC信号 (その1～その12)

Fig. 5.2(a)～(f) ; 反応度外乱実験のDC信号 (その1～その6)

Fig. 5.3(a)～(l) ; 負荷外乱実験のAC信号 (その1～その12)

Fig. 5.4(a)～(f) ; 負荷外乱実験のDC信号 (その1～その6)

Fig. 5.5(a)～(l) ; 自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル：その1～その12)

Fig. 5.6(a)～(l) ; 自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル：その1～その12)

Fig. 5.7(a)～(l) ; 自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル：その1～その12)

Fig. 5.8(a)～(f) ; 自然雑音測定実験のDC信号(低速サンプル：その1～その6)

ただし、DC信号の船体振動関係の信号波形図は省略した。また、自然雑音の収録では、3つのサンプリング時間間隔($\Delta t=0.02\text{sec}$, 0.1sec , 0.5sec)によるデータ収録を実施したため、それぞれの結果を図示した。なお、外乱実験の場合は $\Delta t=0.1\text{sec}$ と固定である。

収録データのチャンネルに対応する変数名は、DC信号についてはTable 4.2(a)～(e)に、またAC信号についてはTable 4.3に示した通りである。

AD-4で収録した64の変数のほとんどは、AD-1でも同時に収録している。Table 4.3で変数名に(補正前)または(補)と記してあるAC信号は、センサー出力に補正計算を施す前の生信号であり、補正計算後の信号は同名のAD-1チャンネルに収録してある。その関係をTable 5.1に示す。信号波形に関する若干の考察は次章に述べる。

Table 5.1 補正計算前後の変数名の対応関係

AD-4 ch	AC信号 変数名	AD-1 ch	DC信号 変数名
未収録	加圧器水位1(補正前)	未収録	加圧器水位1(補正前)
24	加圧器水位2(補正前)	未収録	加圧器水位2(補正前)
23	加圧器水位	90	加圧器水位
25	No. 1ループ1次冷却水流量(前)	10	No. 1ループ1次冷却水流量
26	No. 2ループ1次冷却水流量(前)	11	No. 2ループ1次冷却水流量
27	No. 1ループ蒸気流量(補正前)	36	No. 1SG蒸気流量
28	No. 1ループ蒸気流量(補正前)	37	No. 1SG蒸気流量
29	No. 1ループ給水流量(補正前)	34	No. 1SG給水流量
30	No. 2ループ給水流量(補正前)	35	No. 2SG給水流量
31	No. 1SGナロー水位(補正前)	41	No. 1SGナロー水位
32	No. 2SGナロー水位(補正前)	42	No. 2SGナロー水位

5.2 パワー・スペクトル解析

次に、周波数領域から実験の傾向を捉らえ各信号の特性を評価するために、収録信号に対するパワー・スペクトル解析を行った。第3回実験の収録データは、第2回と同様にファイル数だけでも第1回の2倍になることから、ここではDC信号の解析は割愛し、また3つある自然雑音測定実験データは低速サンプルの1ケースだけを選び、反応度外乱、負荷外乱および低速サンプルの自然雑音の3つのデータのAC信号全64chについて解析を行った。図の内訳は以下の通りである。

Fig. 5.9 (a)～(l)；反応度外乱実験のAC信号のAPS D(その1～12)

Fig. 5.10(a)～(l)；負荷外乱実験のAC信号のAPS D(その1～12)

Fig. 5.11(a)～(l)；自然雑音測定実験のAC信号のAPS D(低速サンプル：その1～12)

収録データはM系列信号の主要周波数帯域に対してかなりのオーバー・サンプリングであるため、バターワース型のディジタル・ロー・パス・フィルタを用いて一旦高周波成分を落とした後、間引きを行い、新しい解析用のデータを作った。この条件をTable 5.2に示す。LPFの遮断周波数は $1/(2\Delta t)$ に設定してある。解析には、後の自己回帰解析の基準スペクトル・データを準備する意味もあり、古典的なBT法(Blackman-Tukey法)を用いた。スペクトル・パターンに関する考察は次章で述べる。

Table 5.2 LPFによる前処理条件

Name	Original		LPF/ Compressed		
	Data Size (pnt)	Δt (sec)	1/n	Data Size (pnt)	Δt (sec)
M91971	19,200	0.1	1/5	3,840	0.5
M91972	19,800	0.1	1/5	3,960	0.5
M91973	26,400	0.1	1/10	2,640	1.0
M91974	27,000	0.1	1/10	2,700	1.0
M91975	6,000	0.02	1/2	3,000	0.04
M91976	6,000	0.1	1/2	3,000	0.2
M91977	6,240	0.5	1/2	3,120	1.0
M91978	6,360	0.5	1/2	3,180	1.0

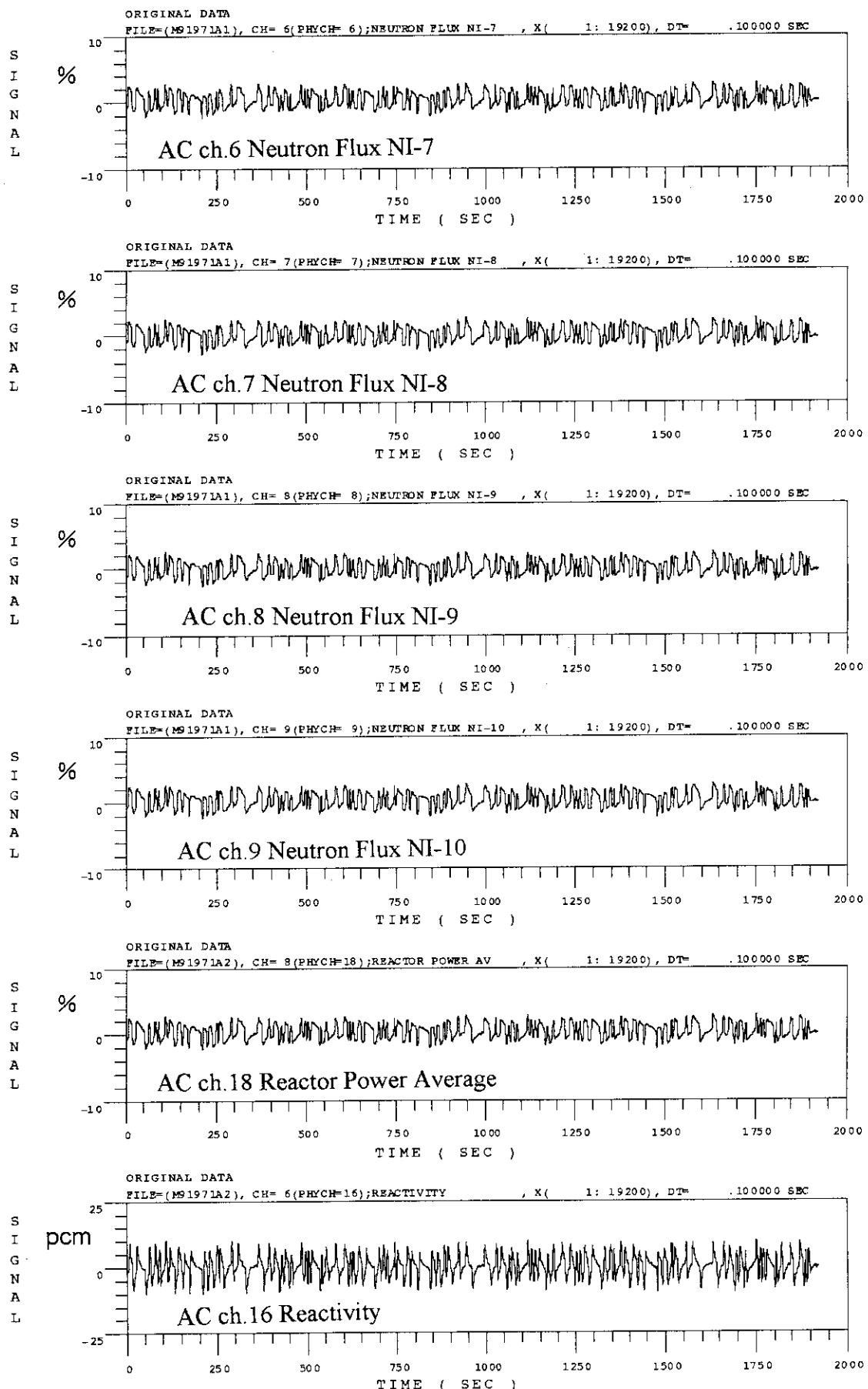


Fig.5.1(a) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その1)

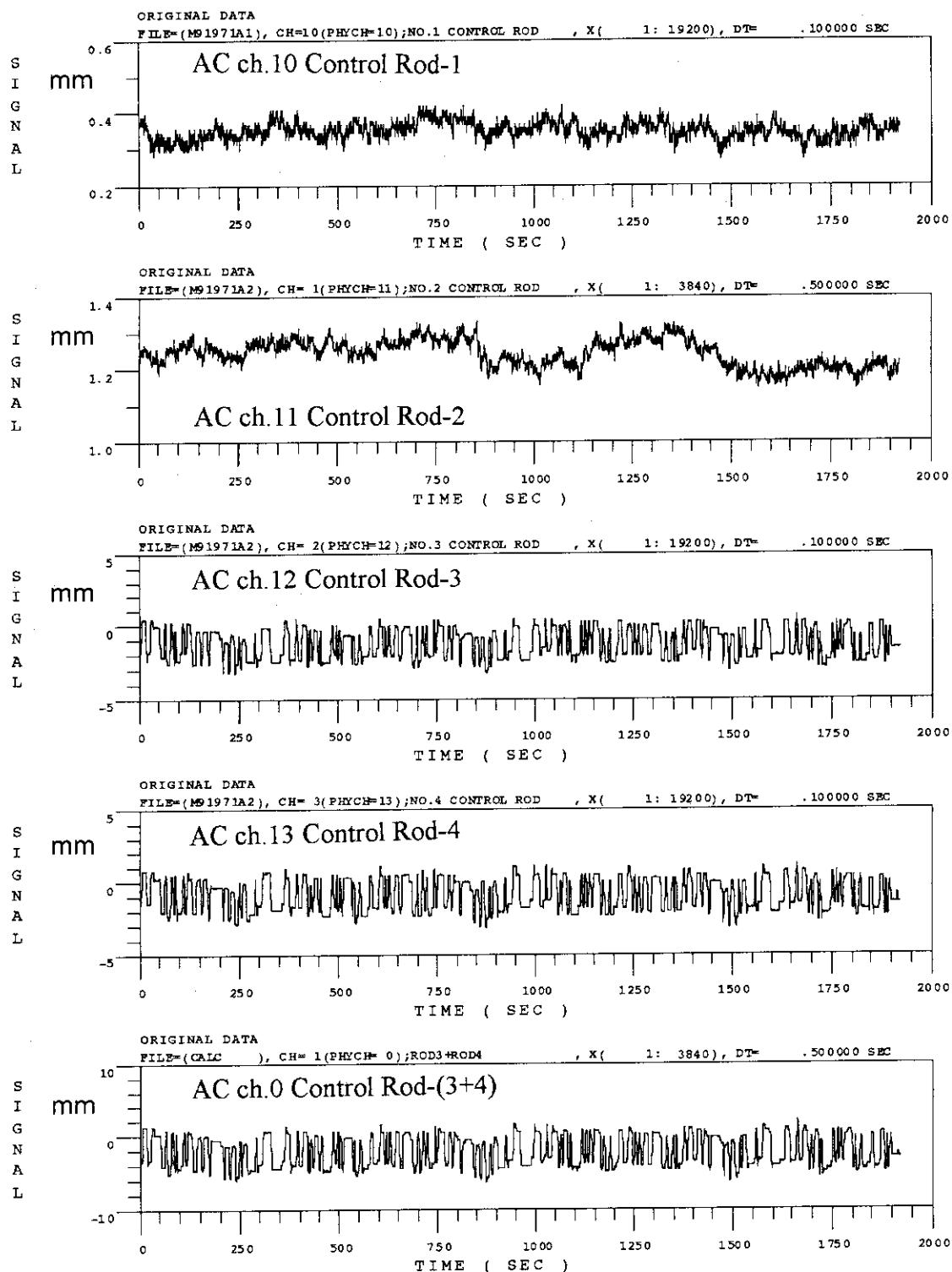


Fig.5.1(b) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その2)

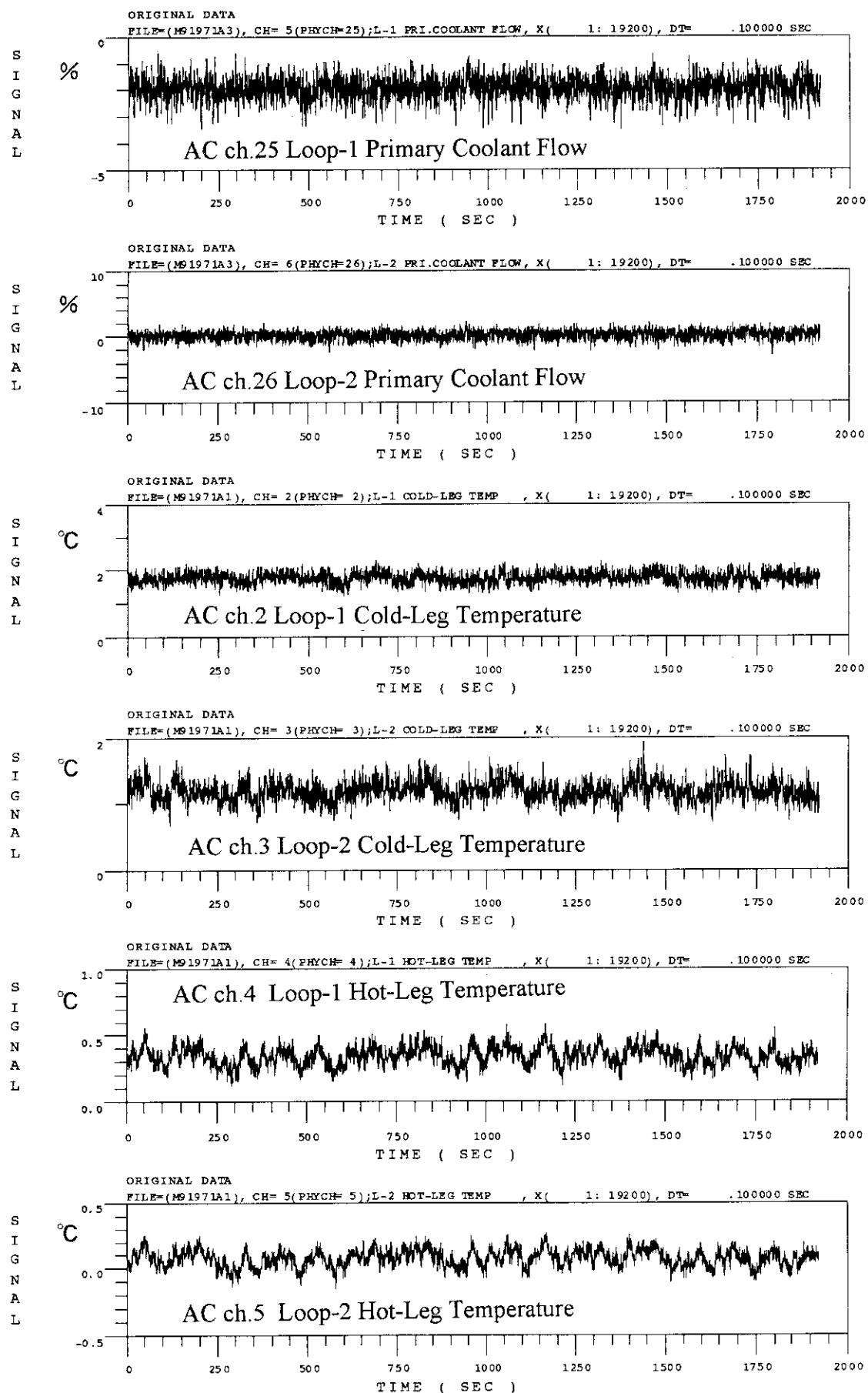


Fig.5.1(c) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その3)

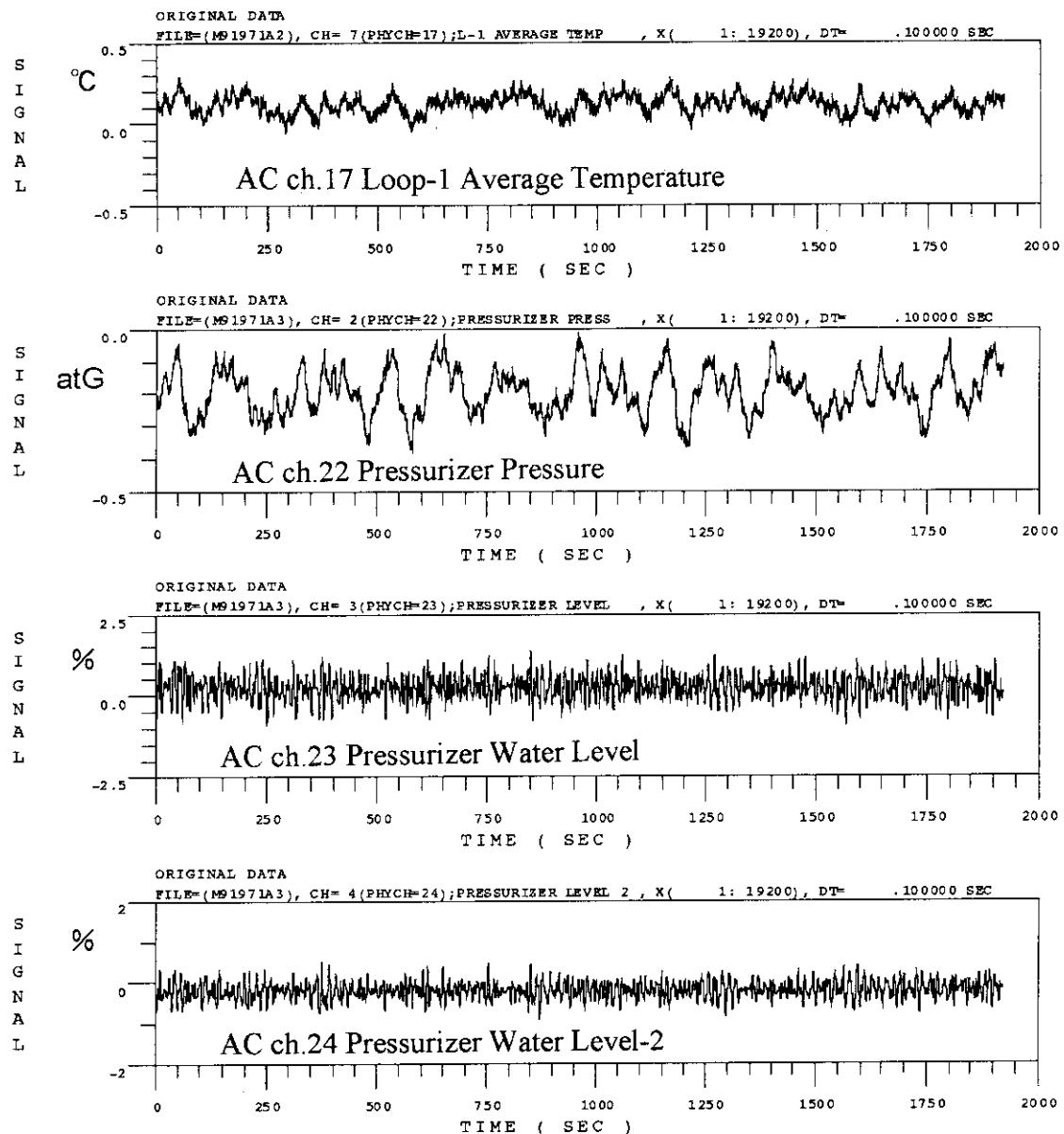


Fig.5.1(d) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その4)

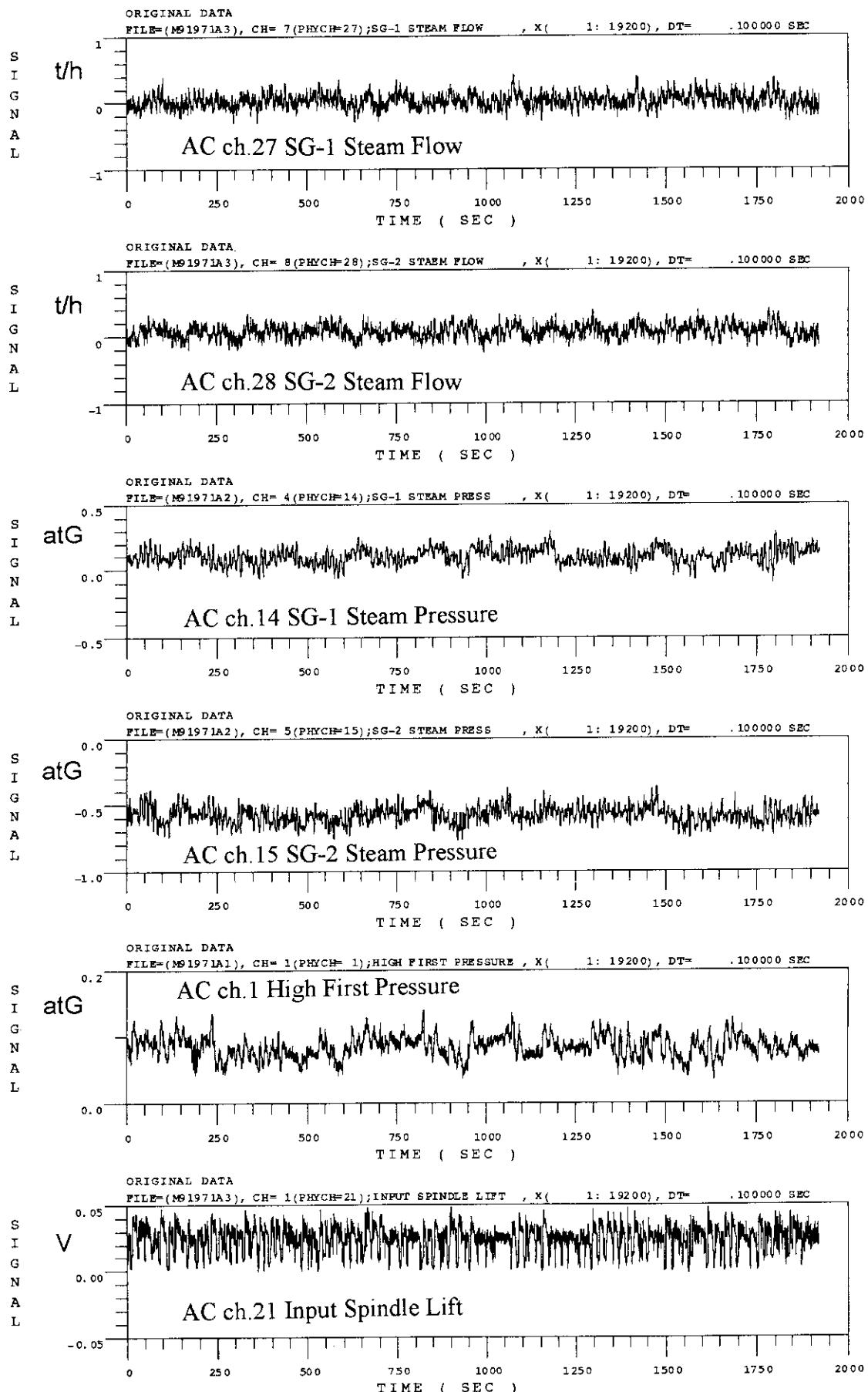


Fig.5.1(e) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その5)

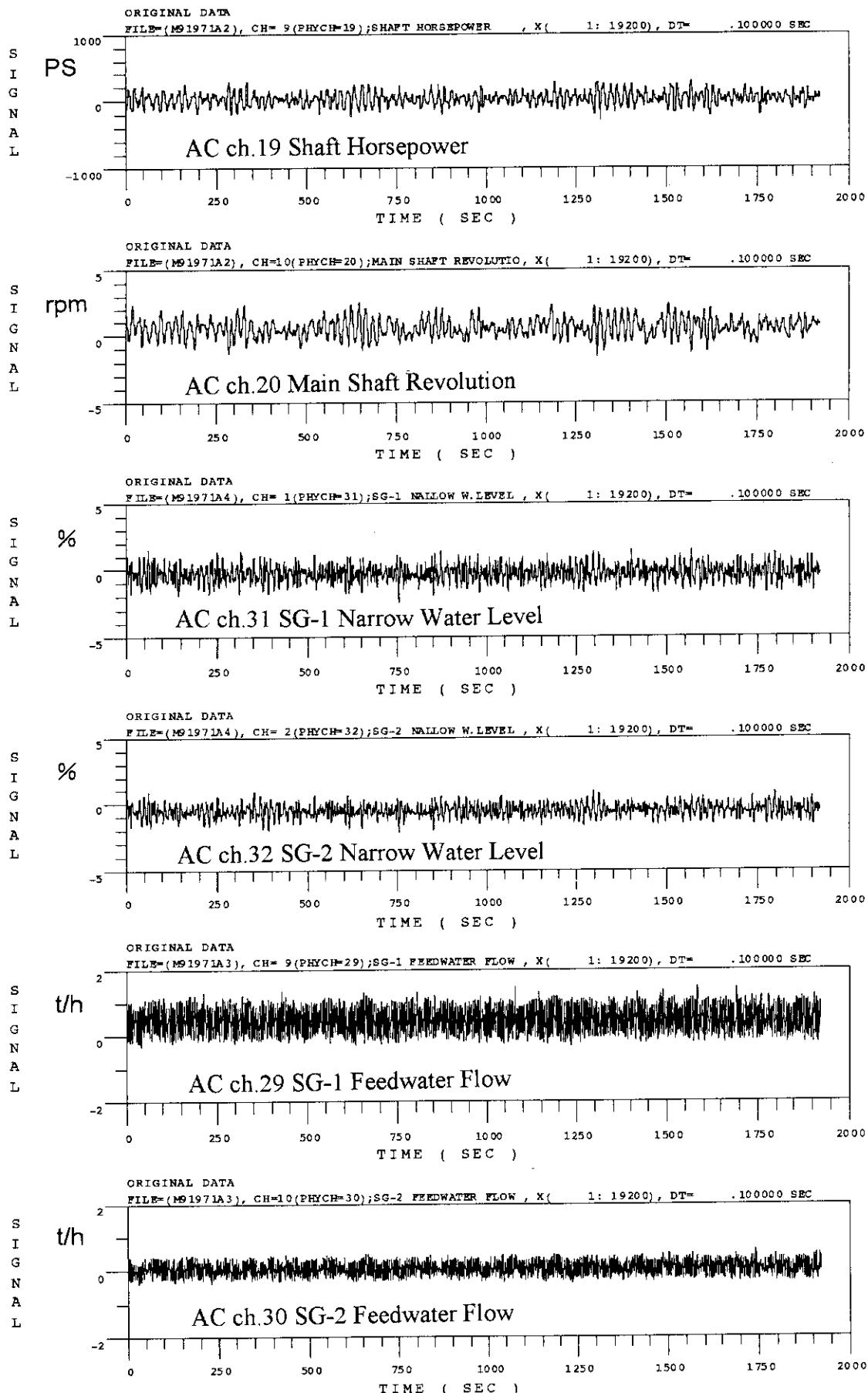


Fig.5.1(f) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その6)

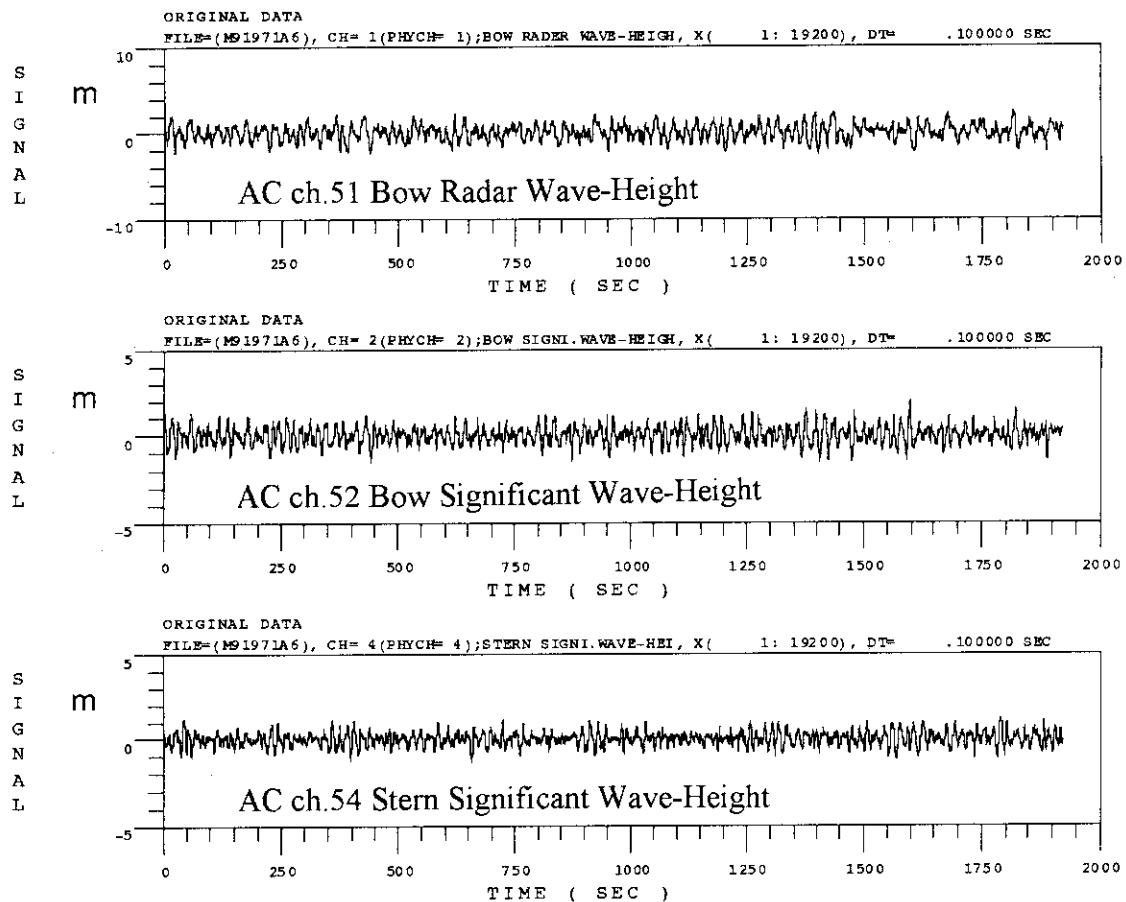


Fig.5.1(g) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その7)

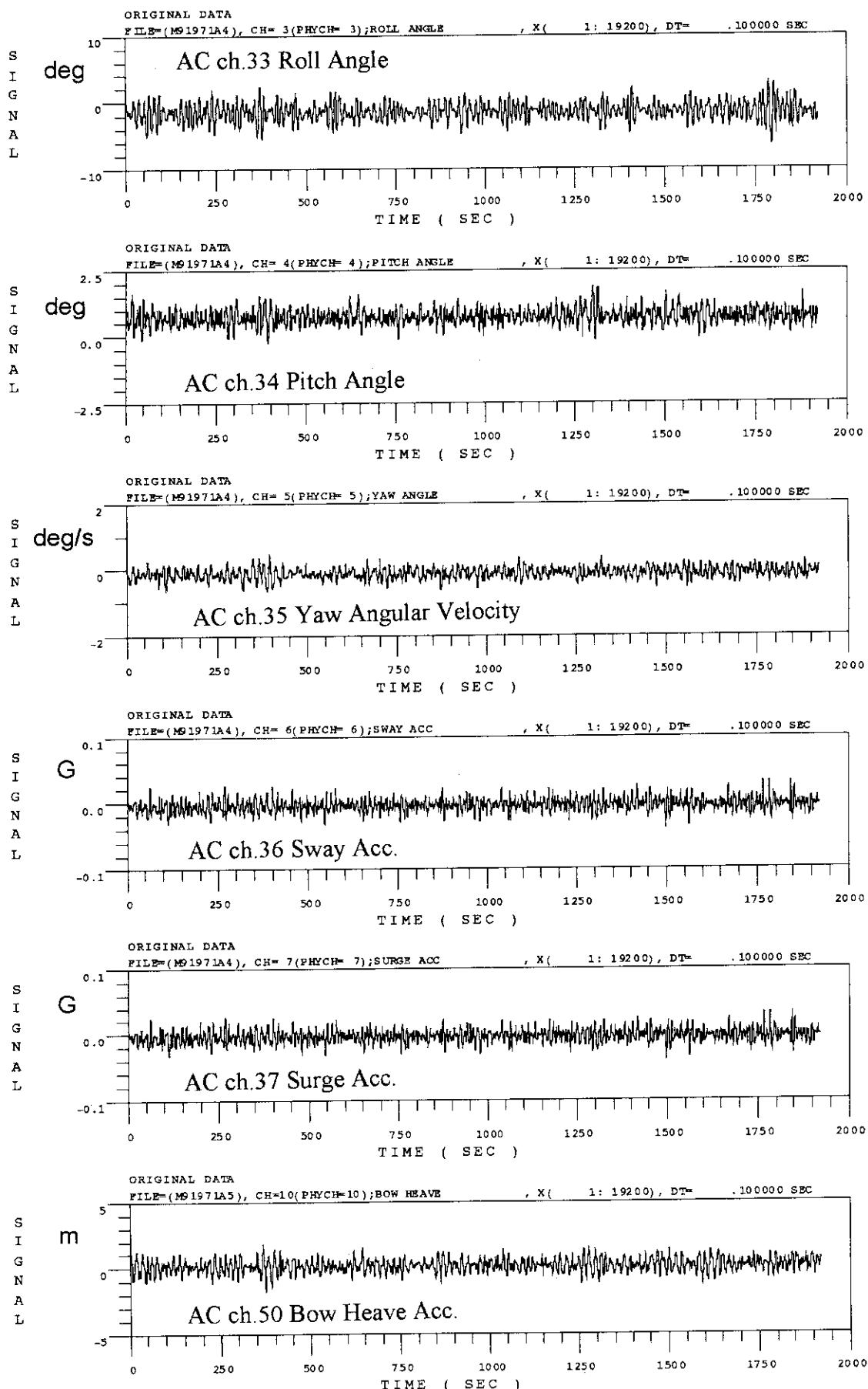


Fig.5.1(h) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その8)

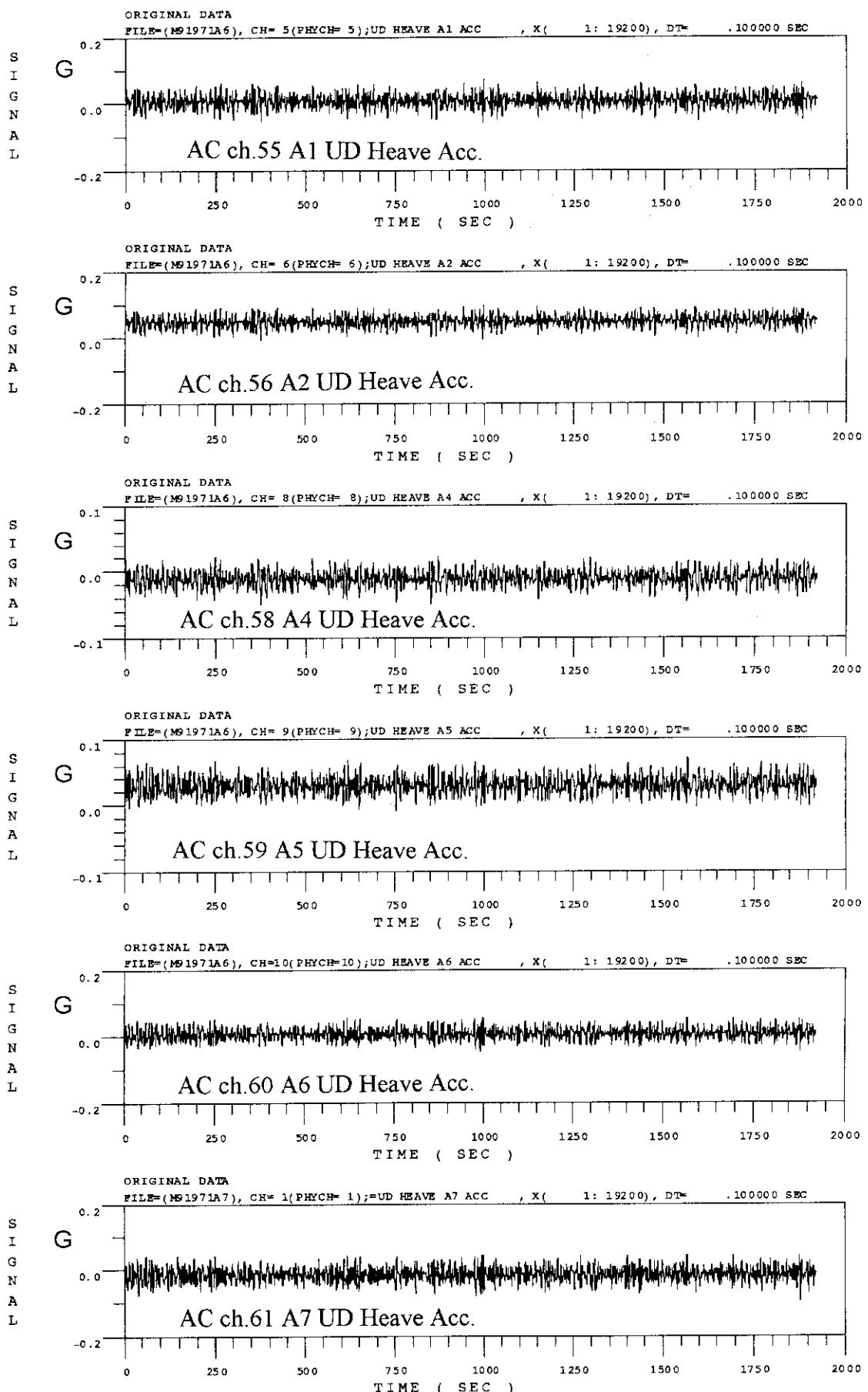


Fig.5.1(i) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その9)

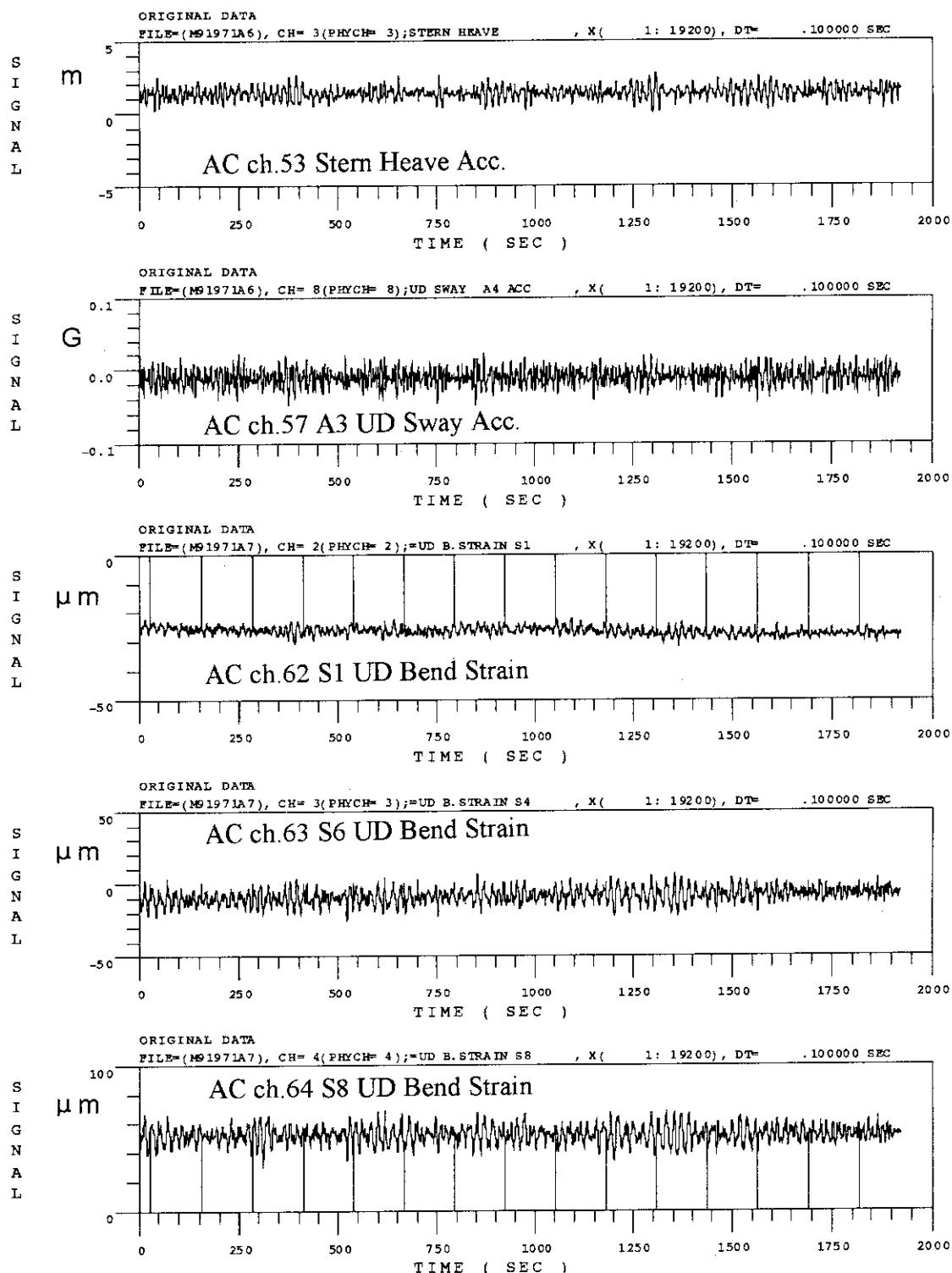


Fig.5.1(j) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その10)

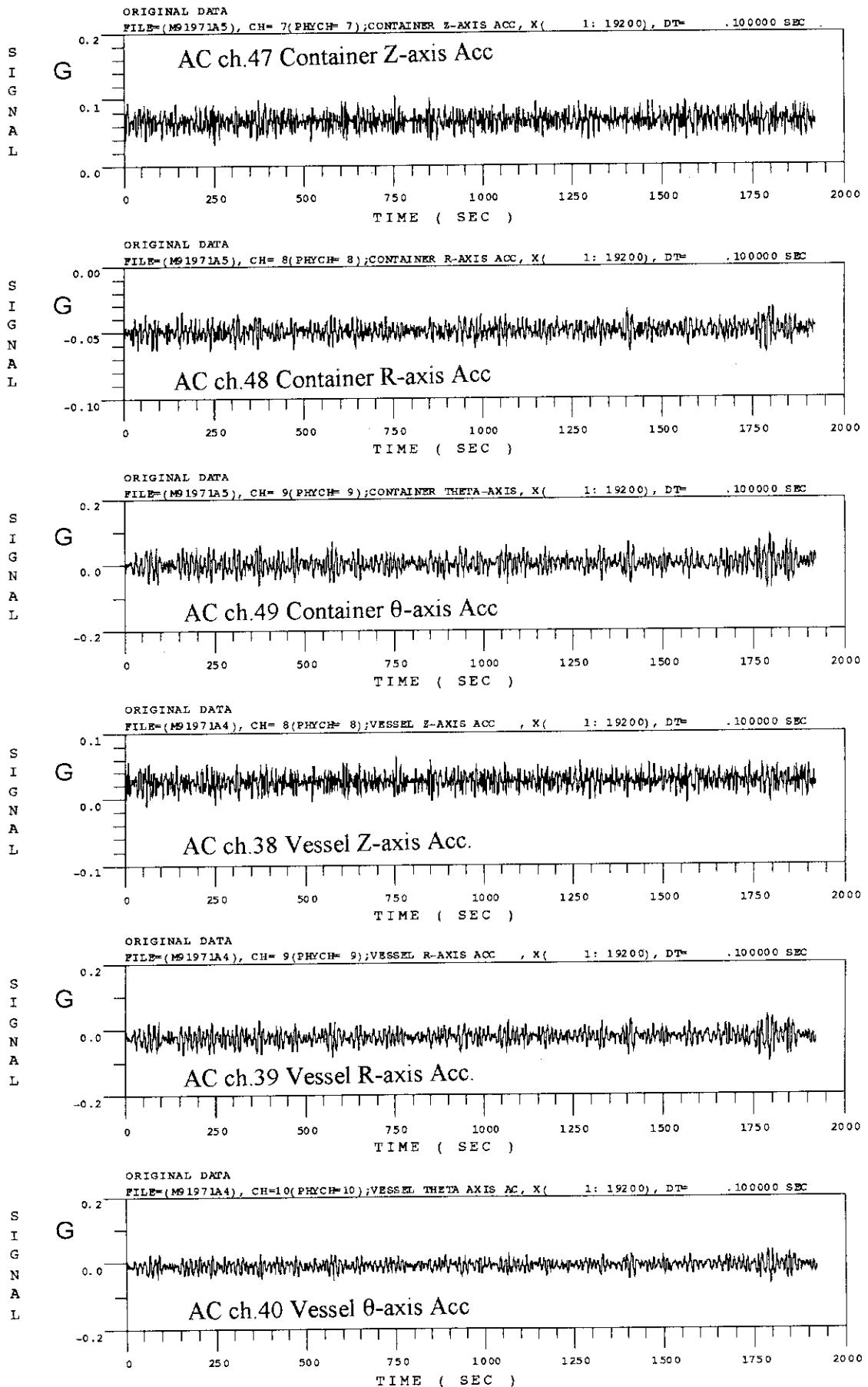


Fig.5.1(k) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その11)

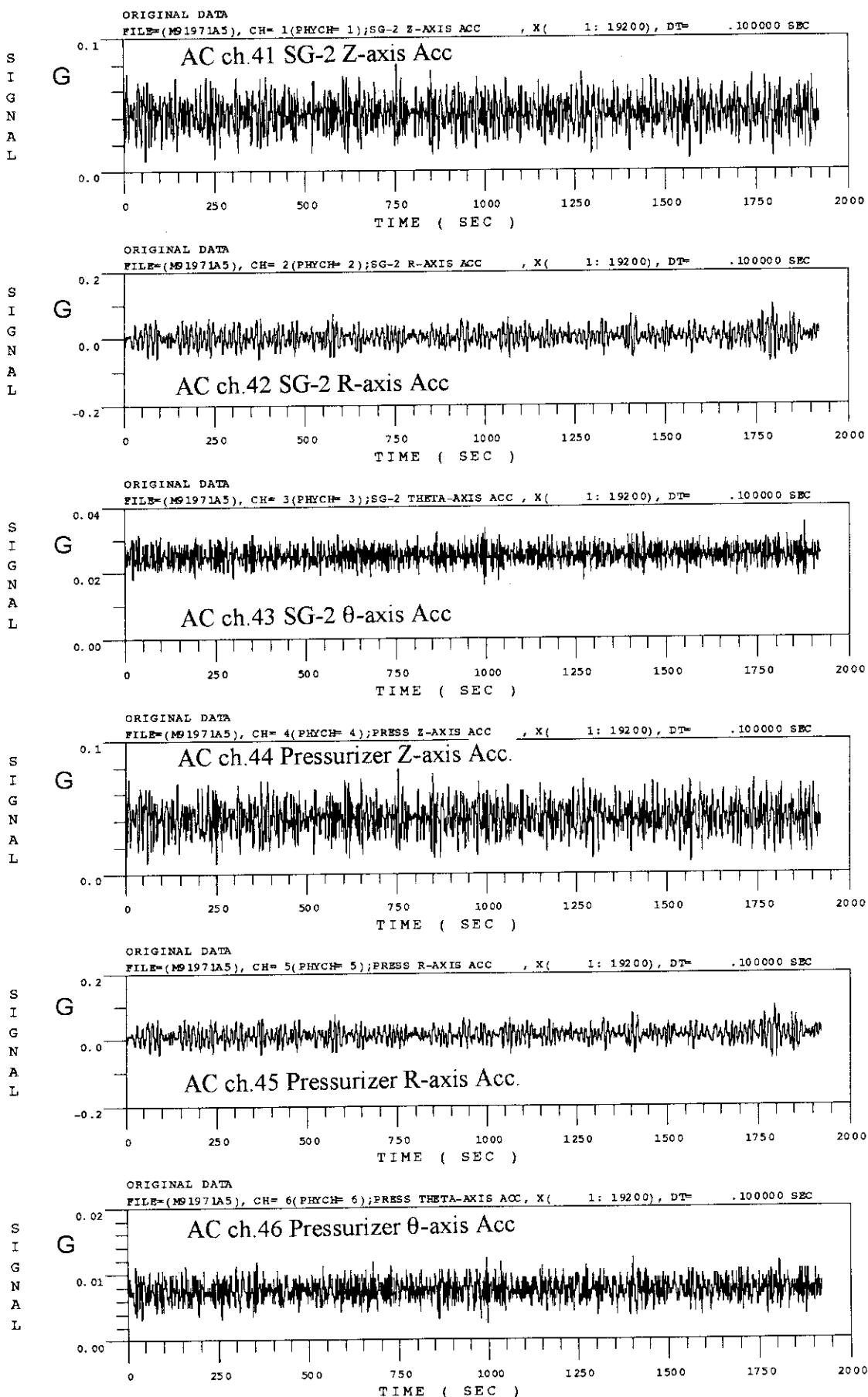


Fig.5.1(l) 第3回反応度外乱実験のAC信号(その12)

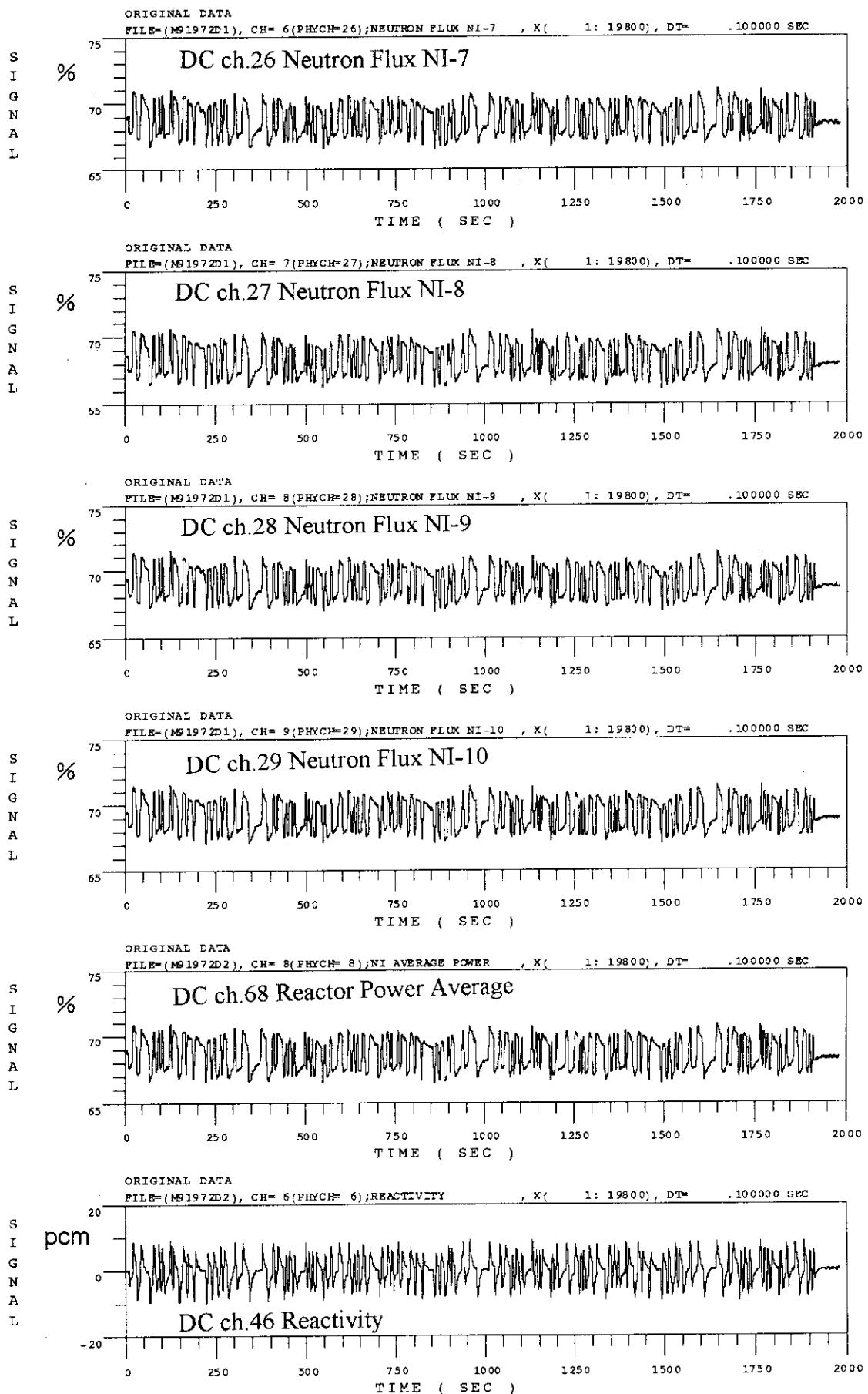


Fig.5.2(a) 第3回反応度外乱実験のDC信号(その1)

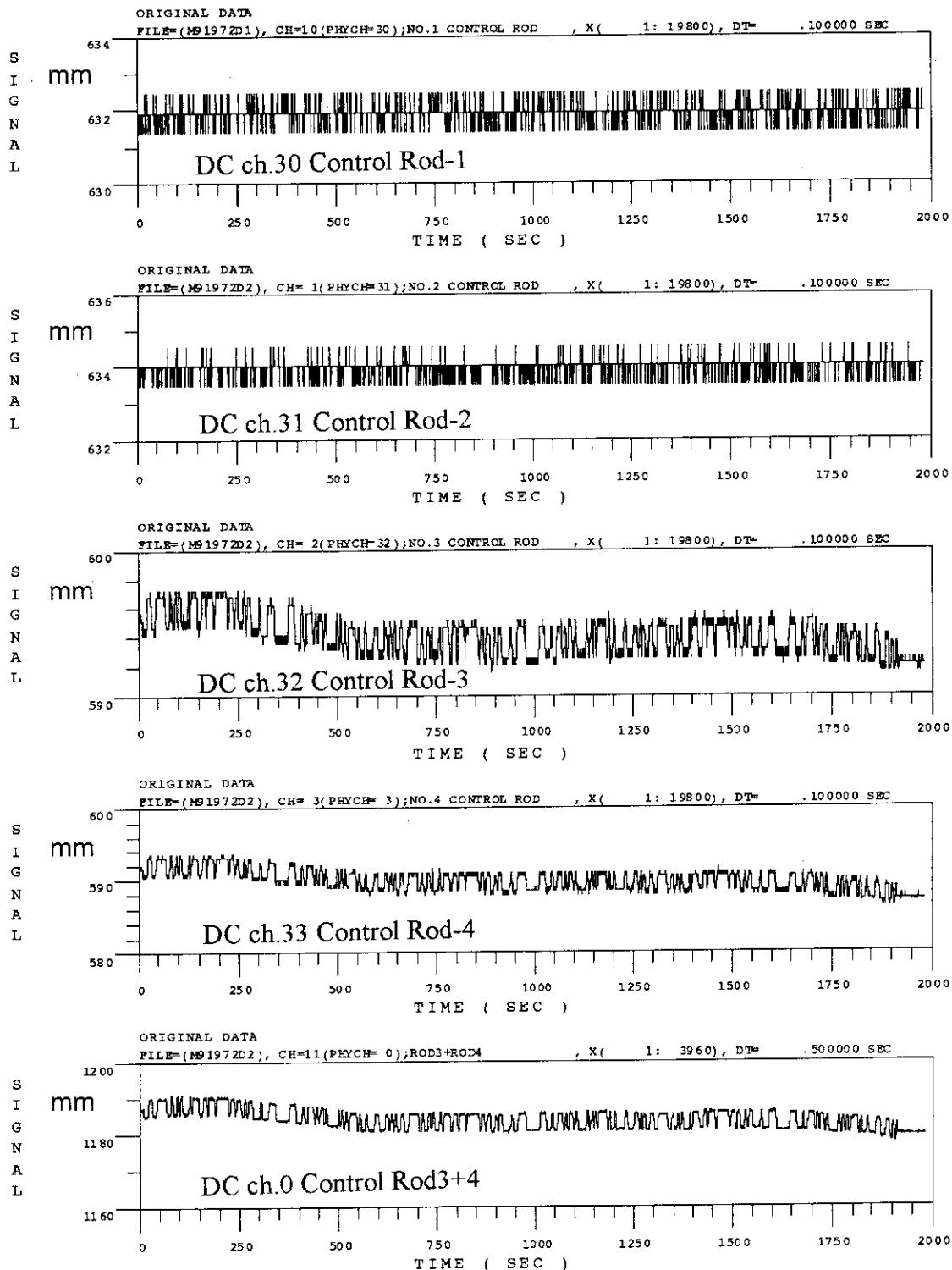


Fig.5.2(b) 第3回反応度外乱実験のDC信号(その2)

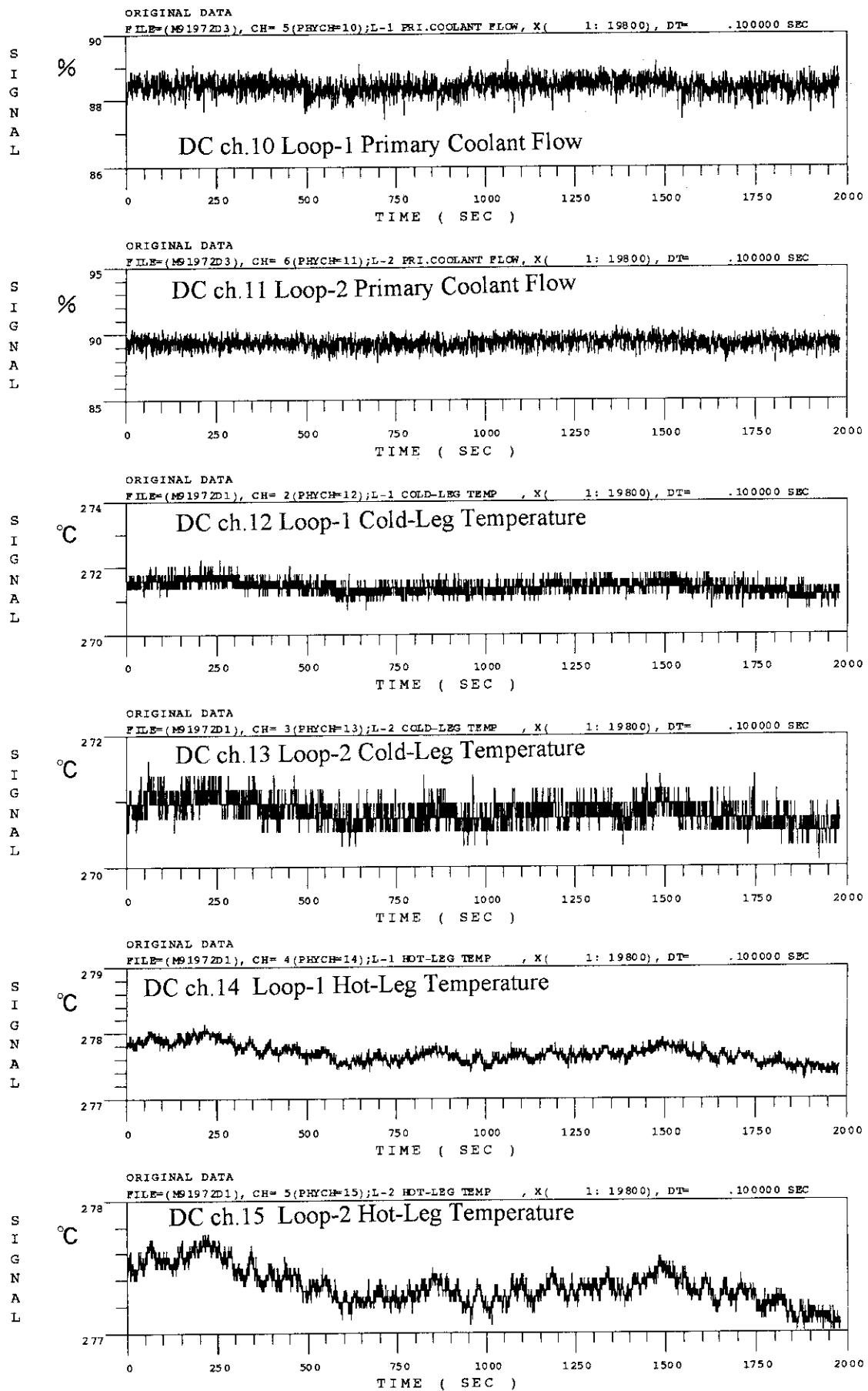


Fig.5.2(c) 第3回反応度外乱実験のDC信号(その3)

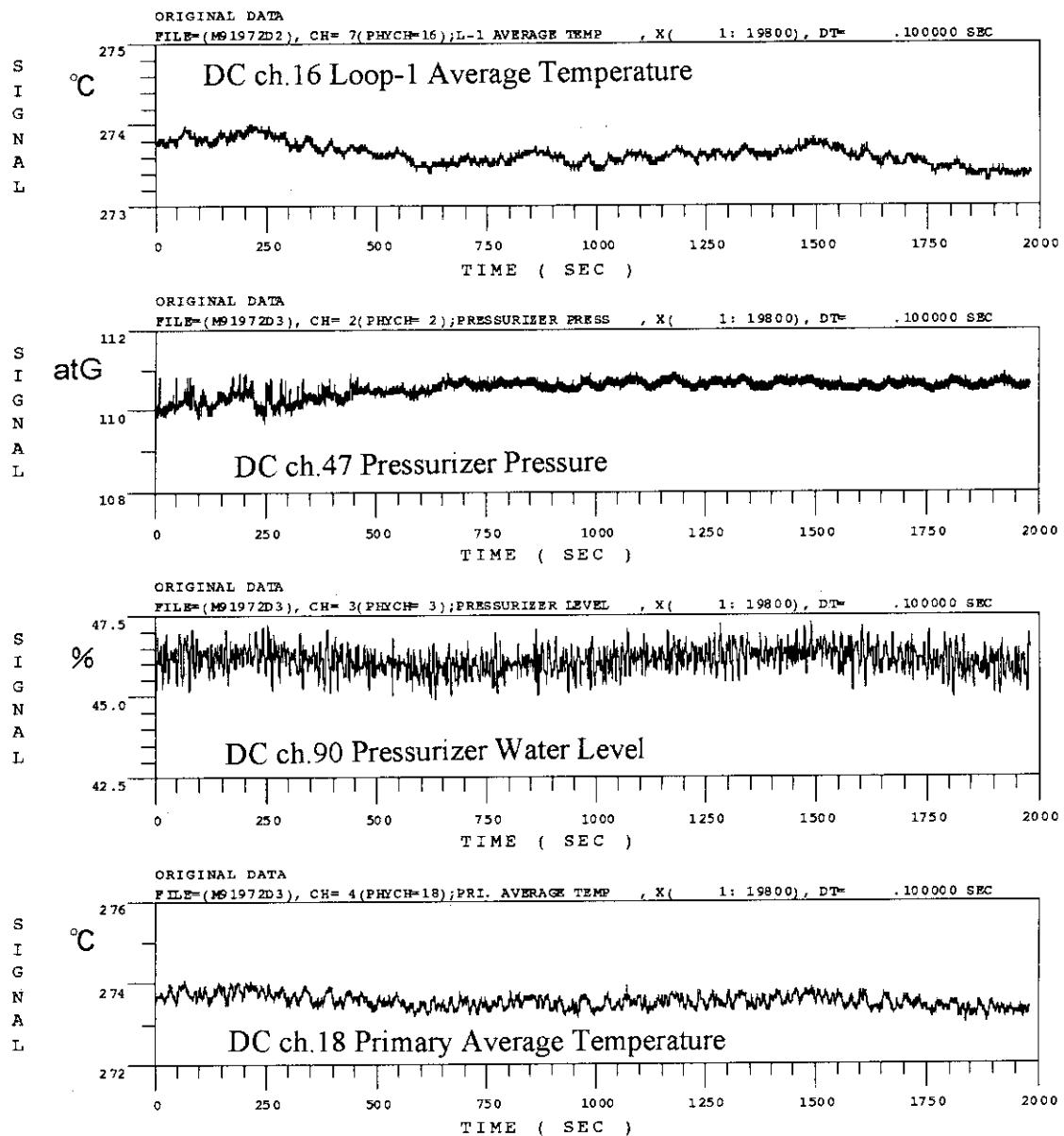


Fig.5.2(d) 第3回反応度外乱実験のDC信号(その4)

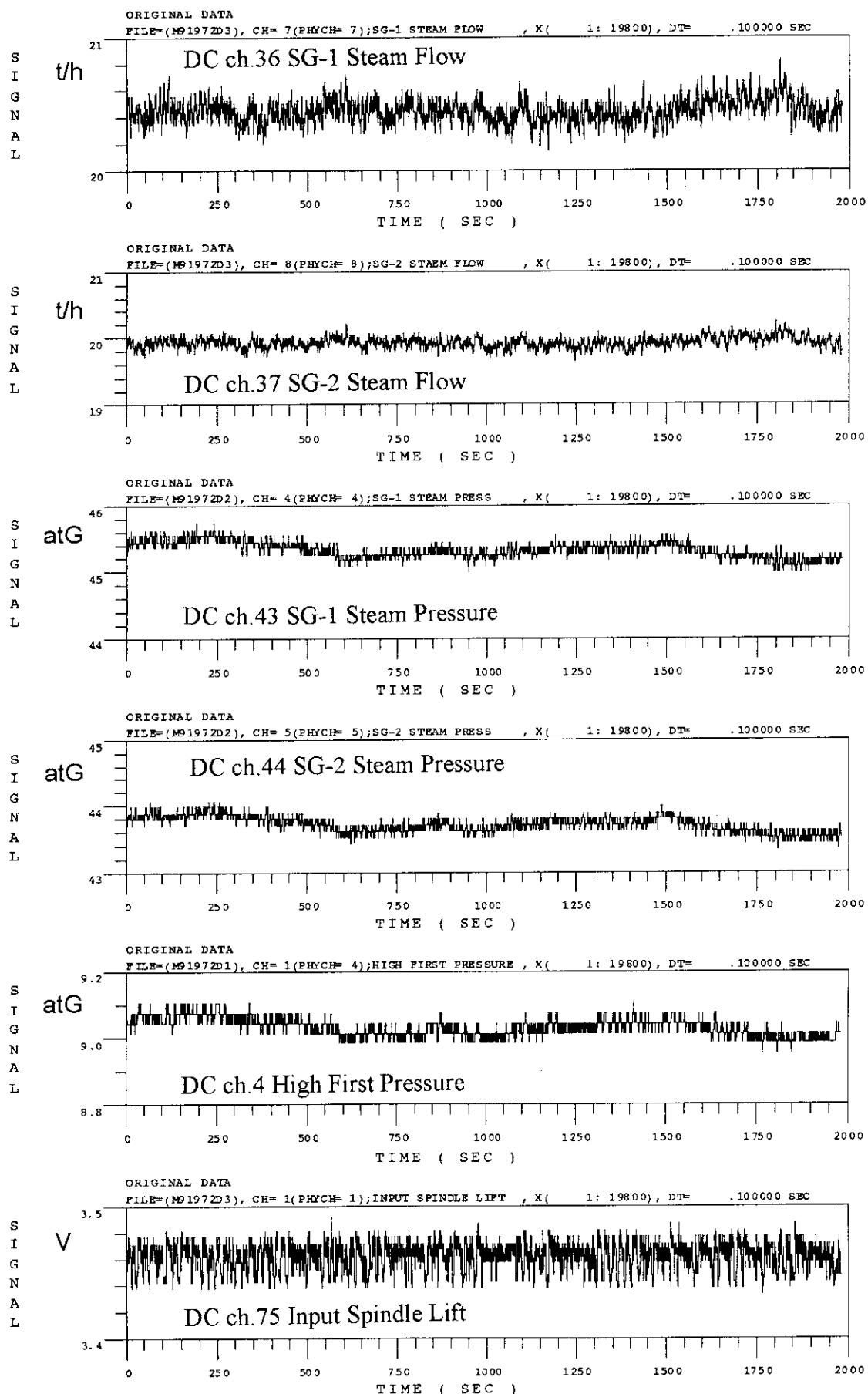


Fig.5.2(e) 第3回反応度外乱実験のDC信号(その5)

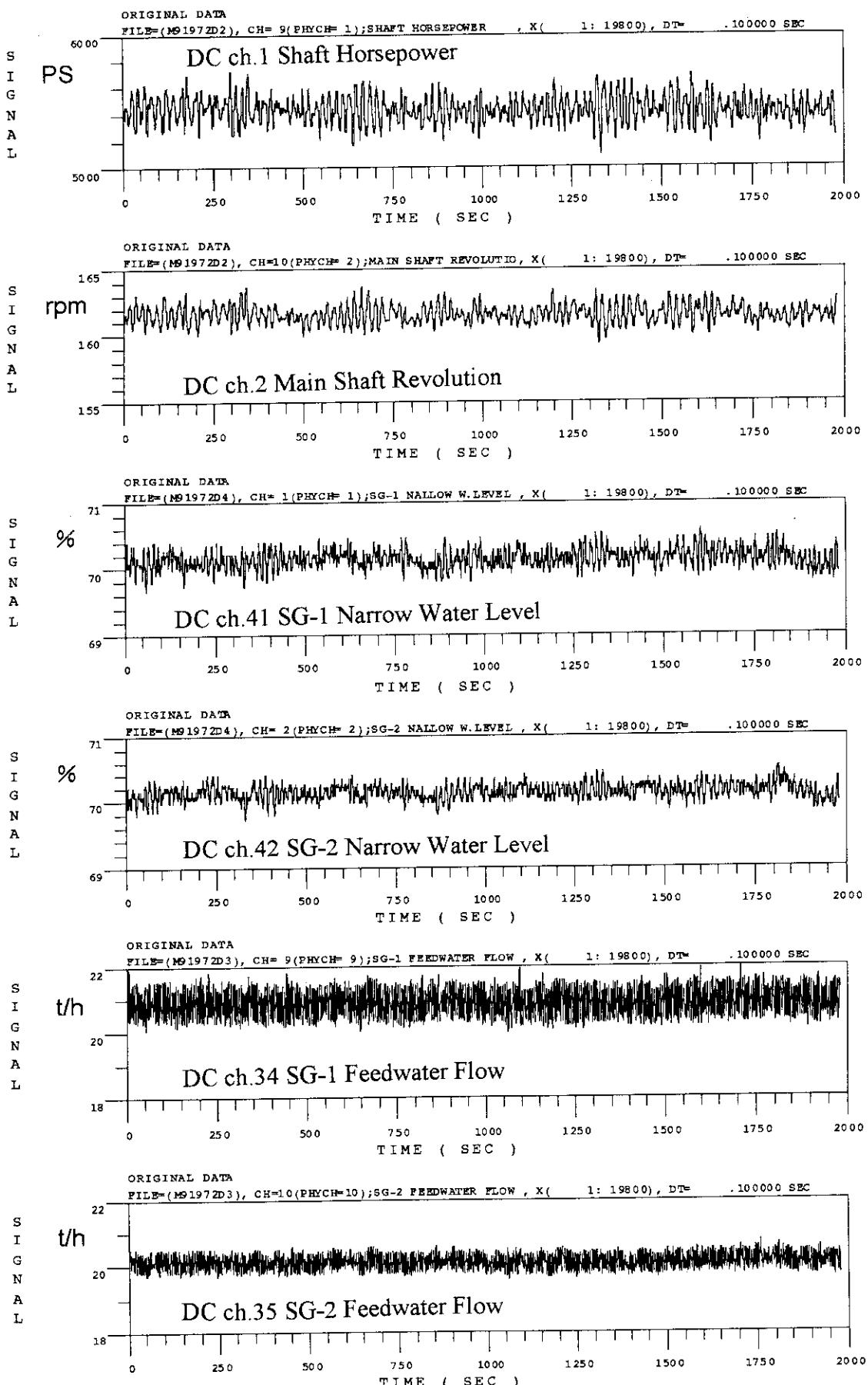


Fig.5.2(f) 第3回反応度外乱実験のDC信号(その6)

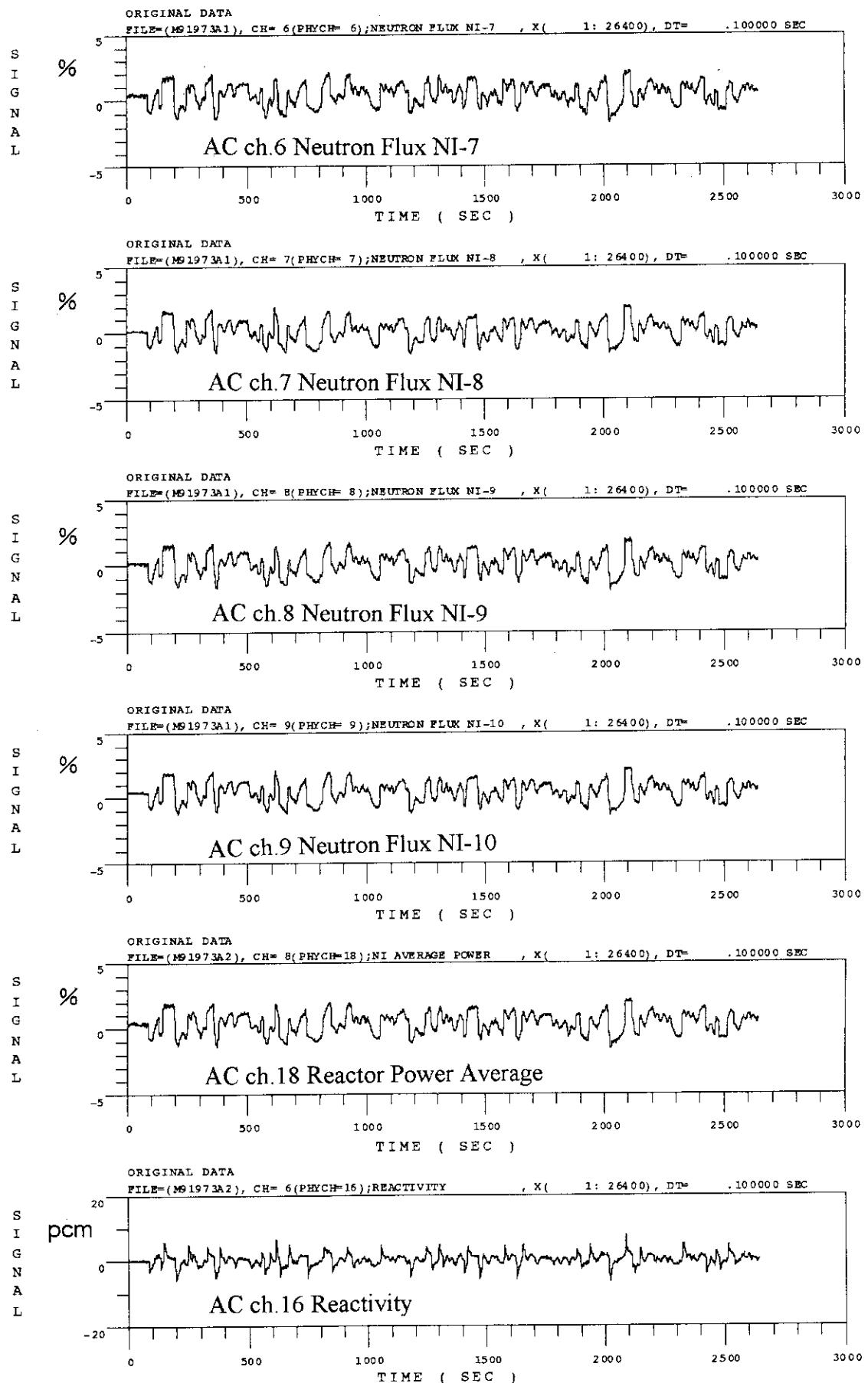


Fig.5.3(a) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その1)

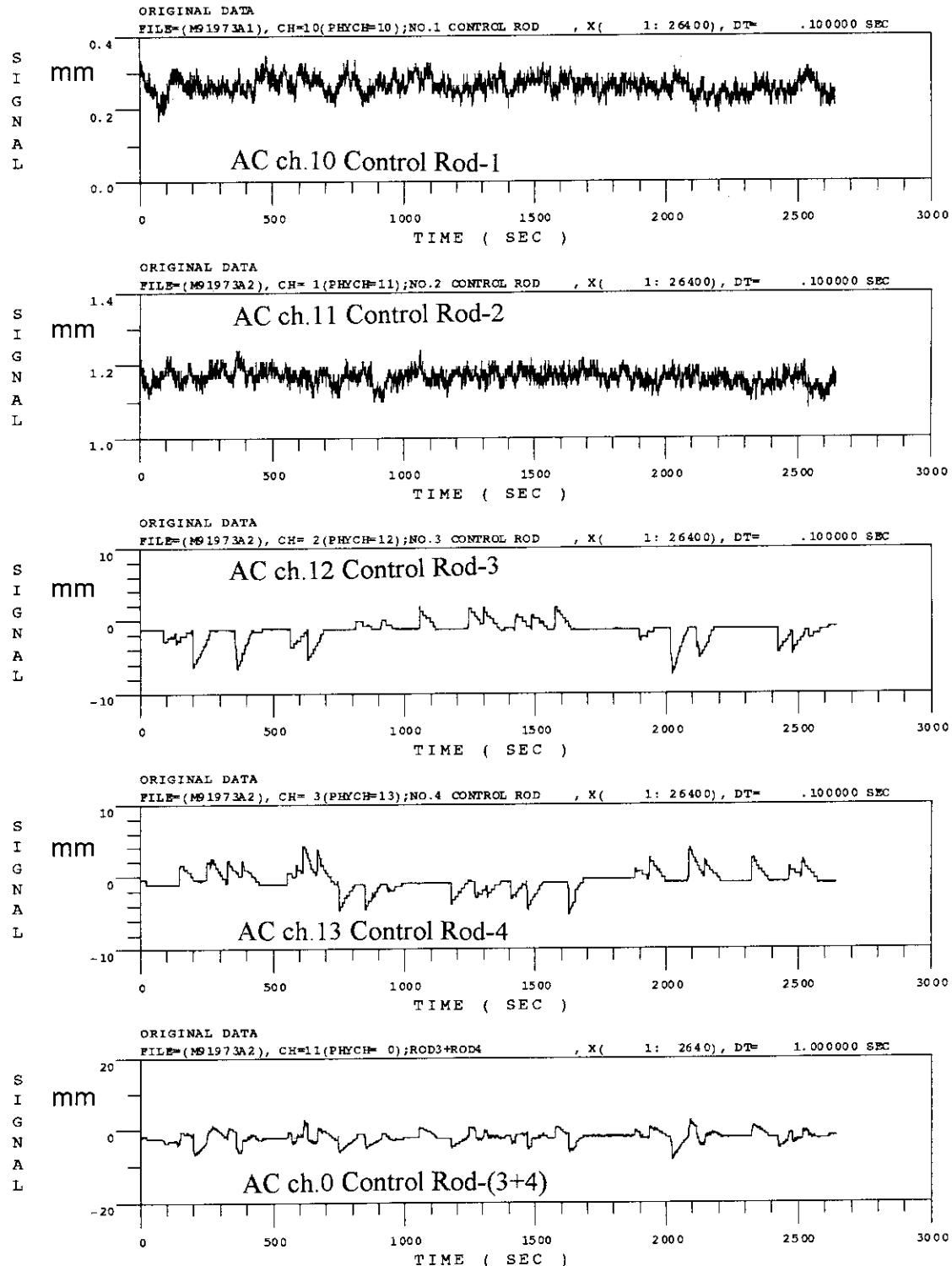


Fig.5.3(b) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その2)

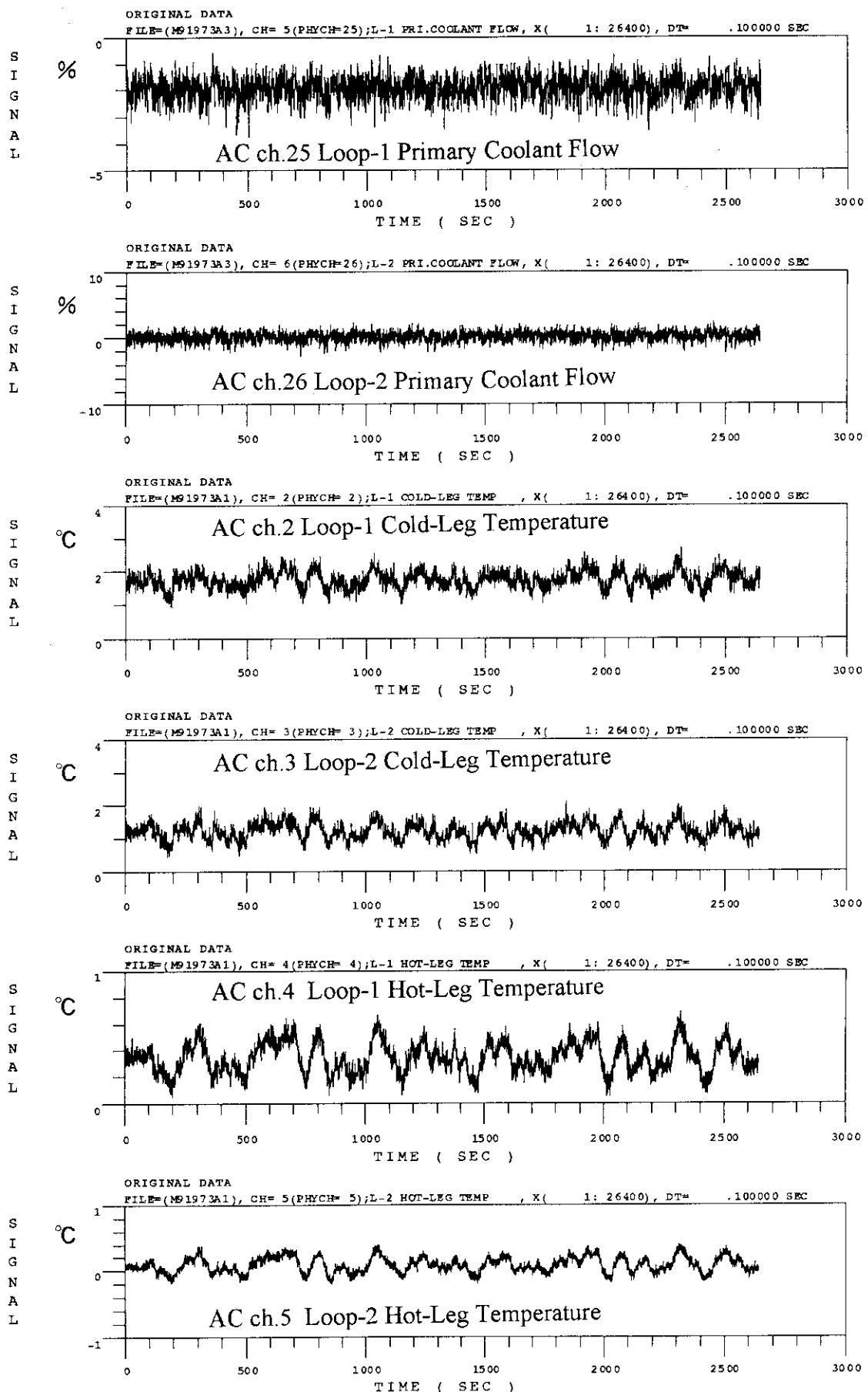


Fig.5.3(c) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その3)

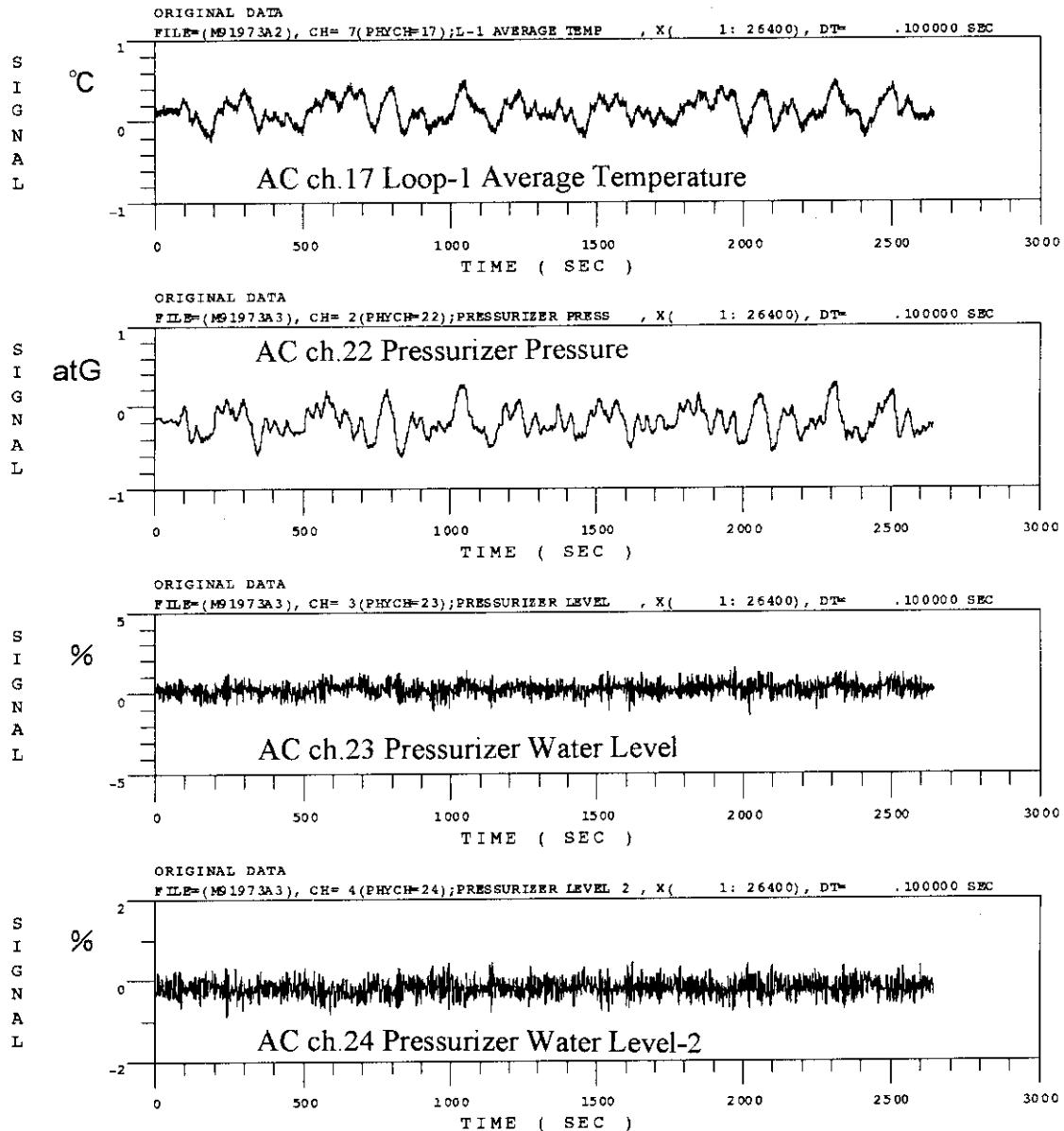


Fig.5.3(d) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その4)

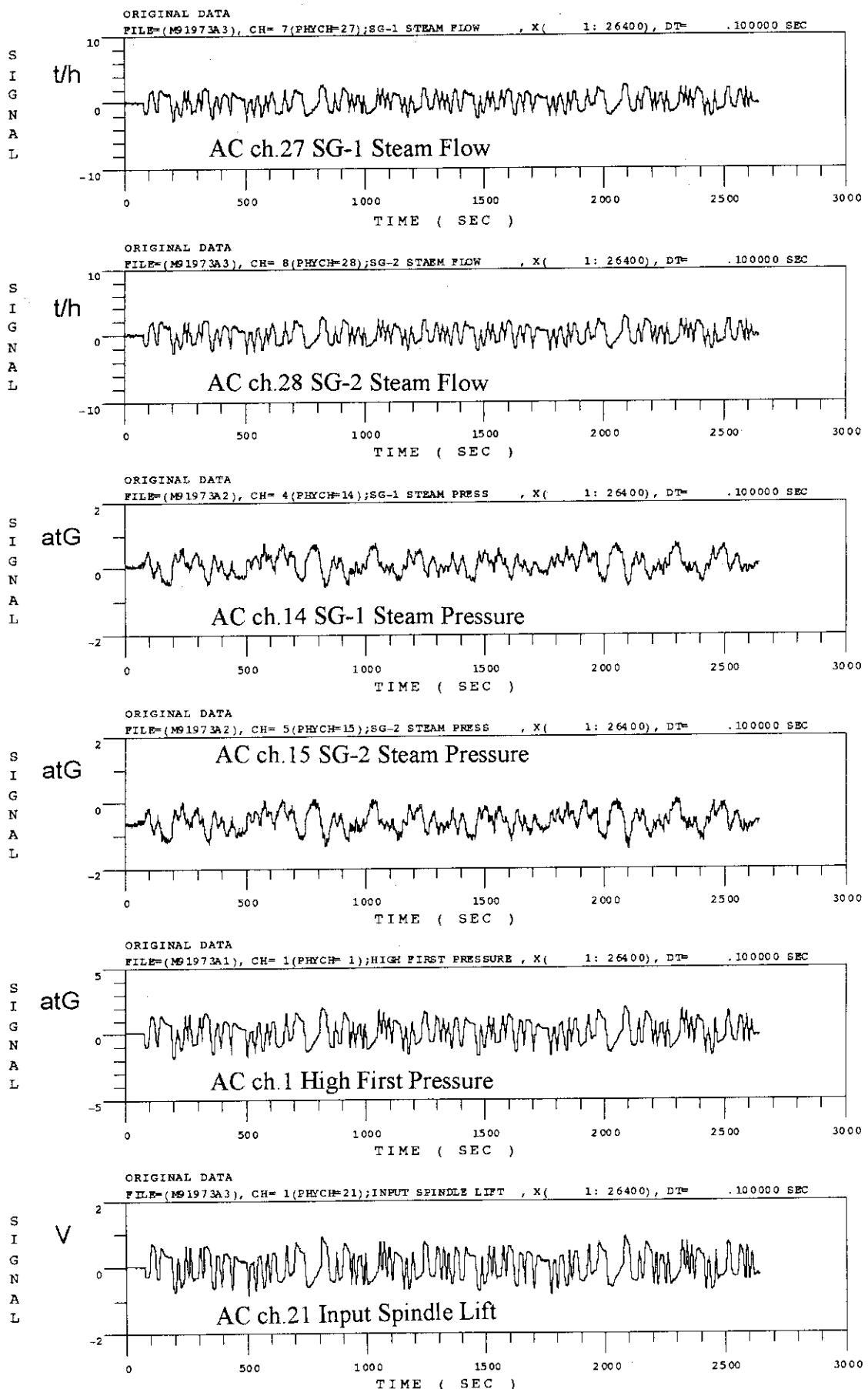


Fig.5.3(e) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その5)

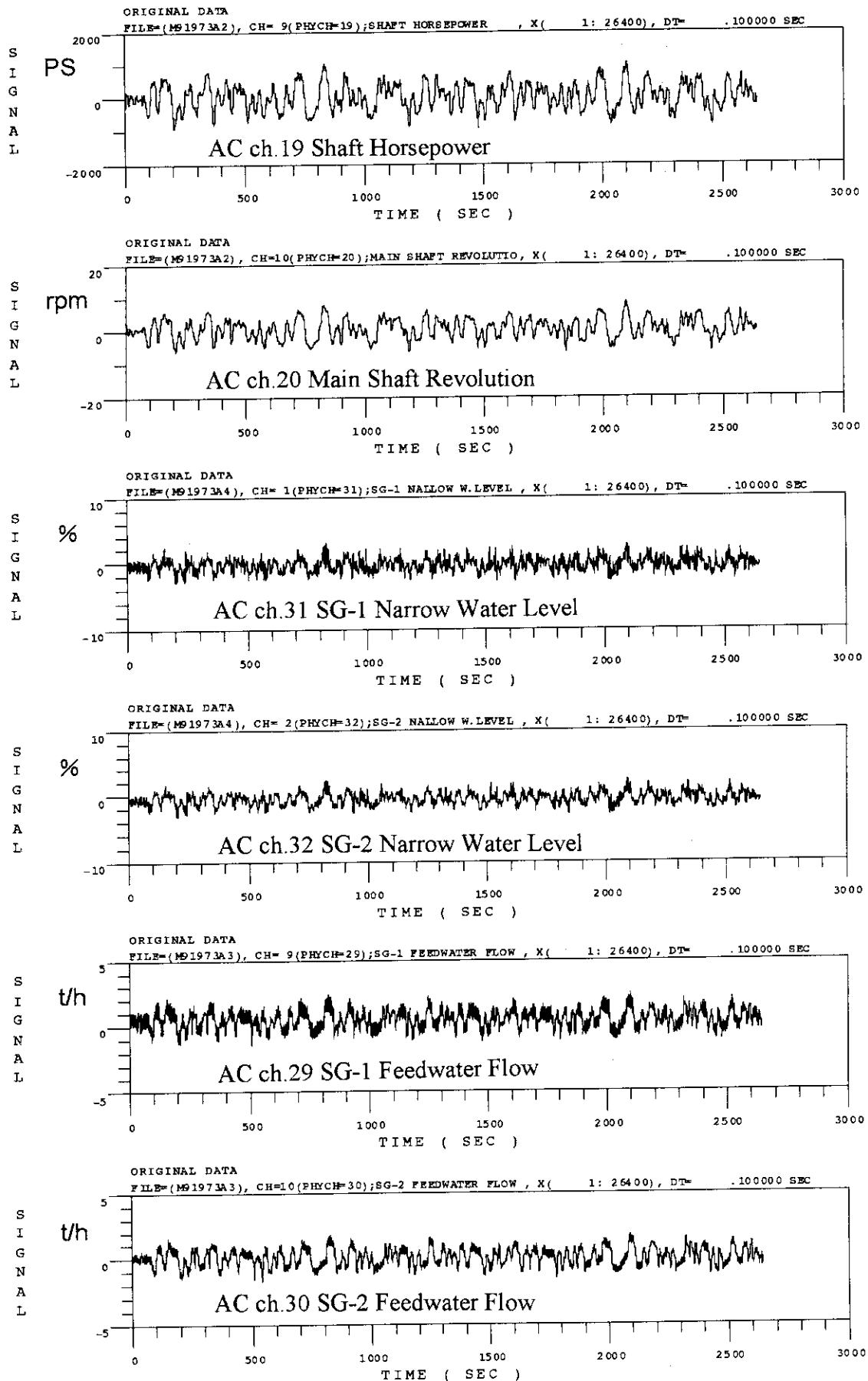


Fig.5.3(f) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その6)

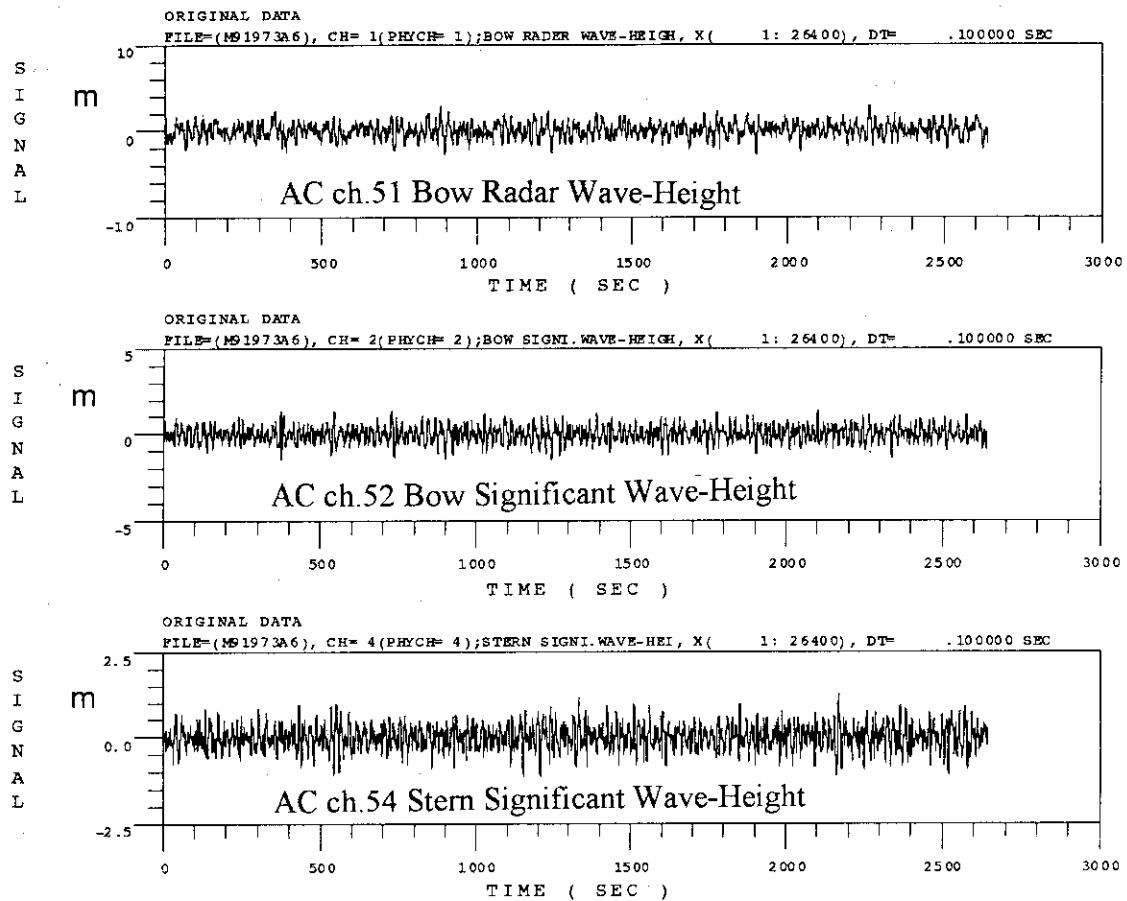


Fig.5.3(g) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その7)

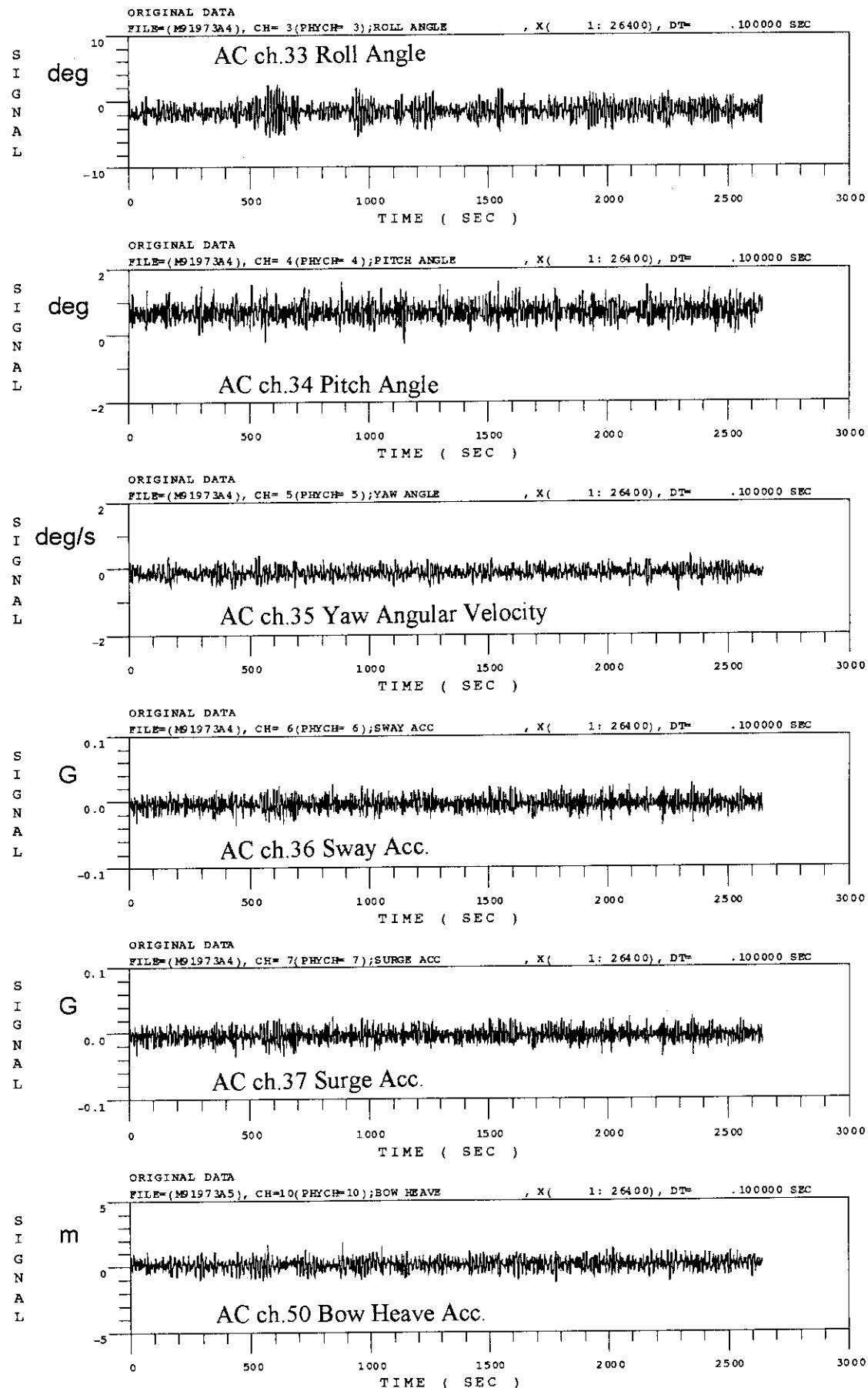


Fig.5.3(h) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その8)

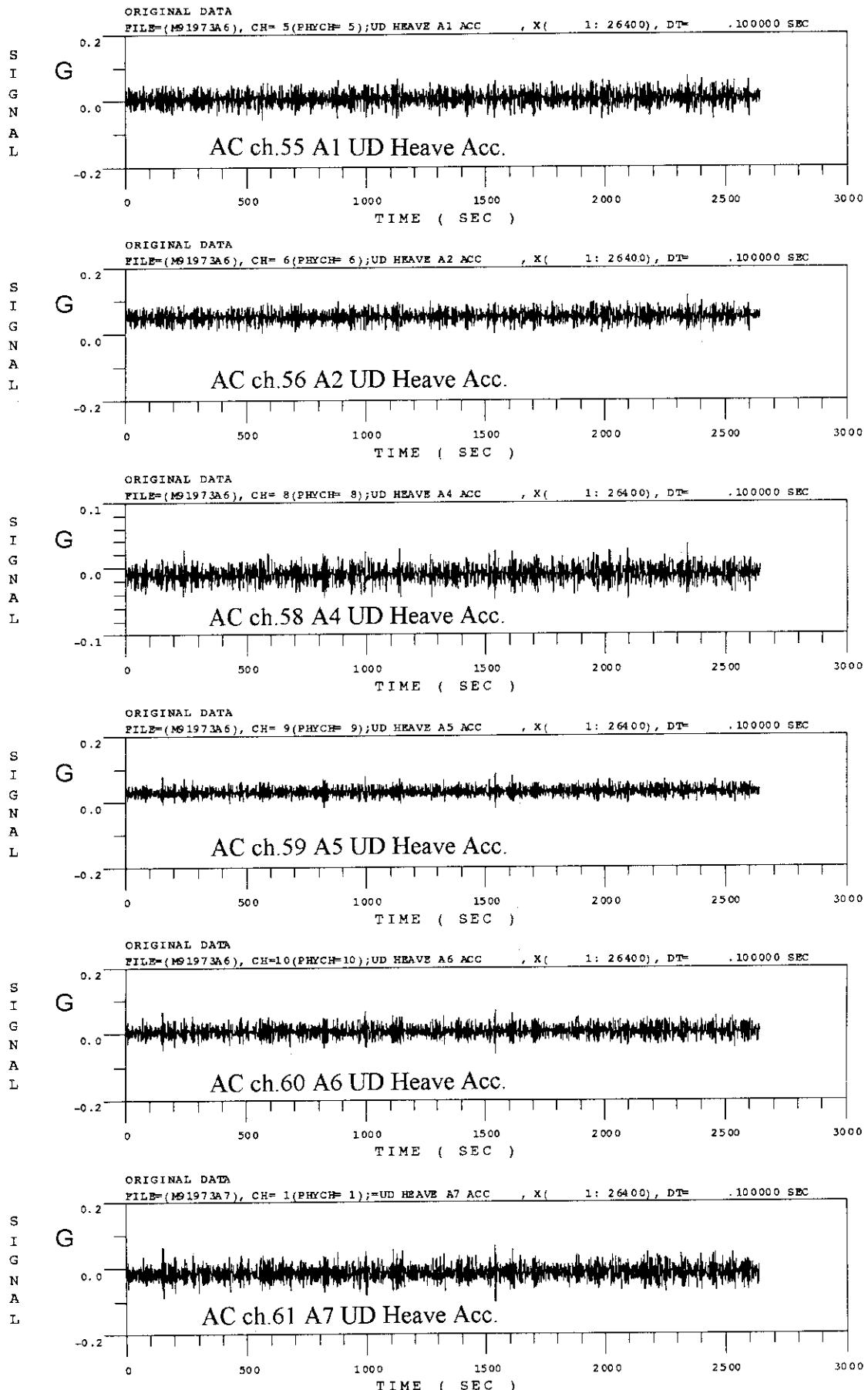


Fig.5.3(i) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その9)

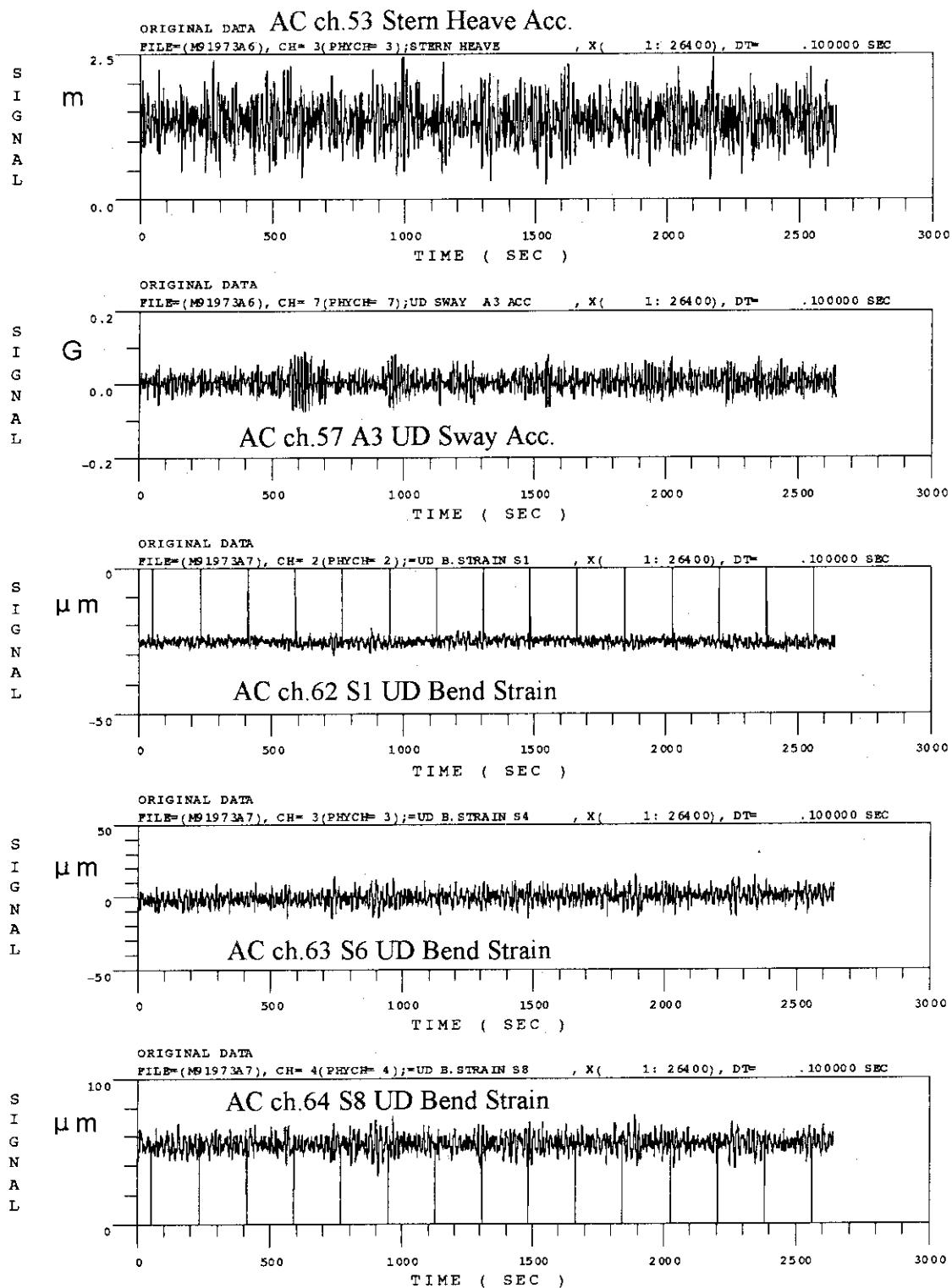


Fig.5.3(j) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その10)

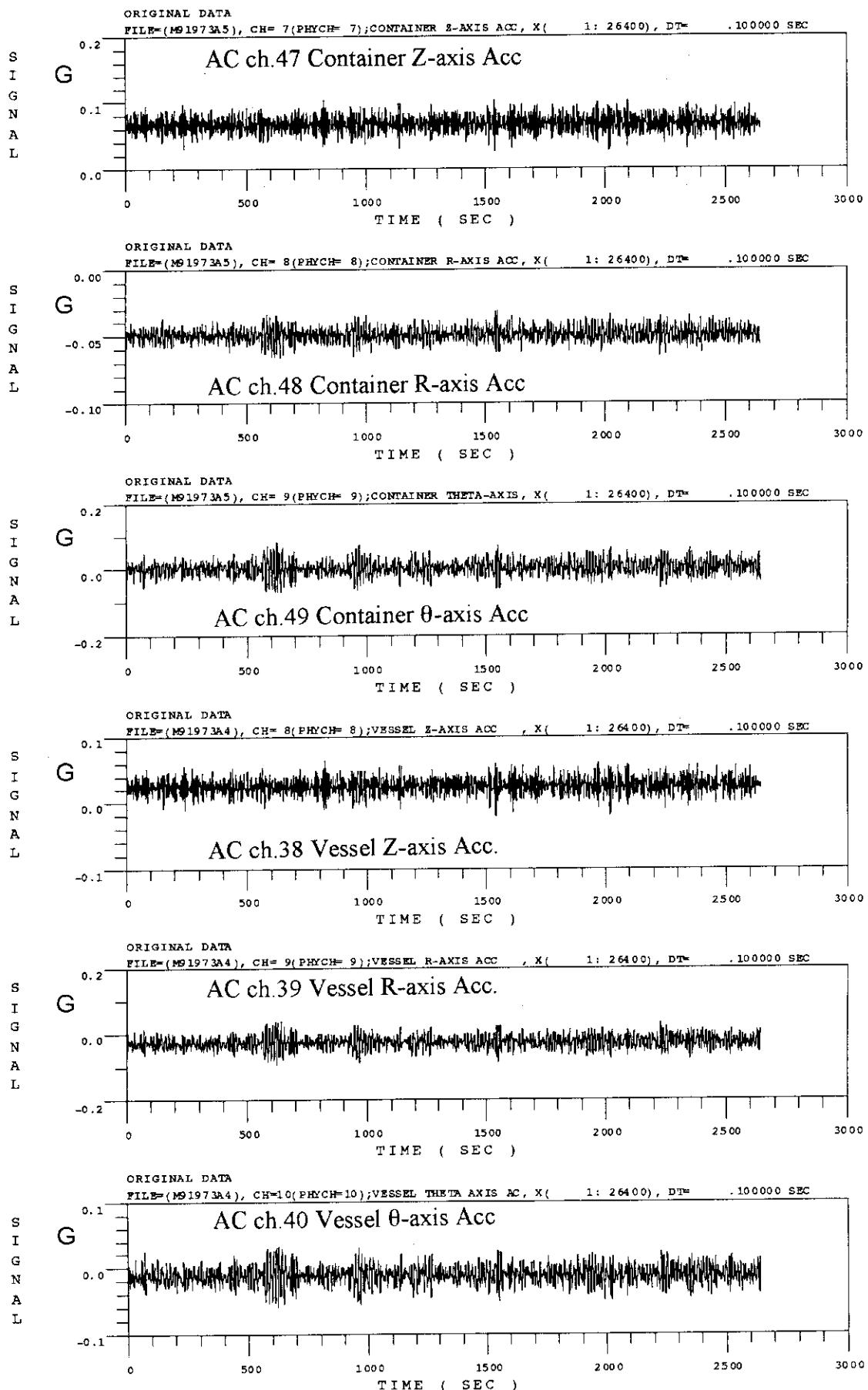


Fig.5.3(k) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その11)

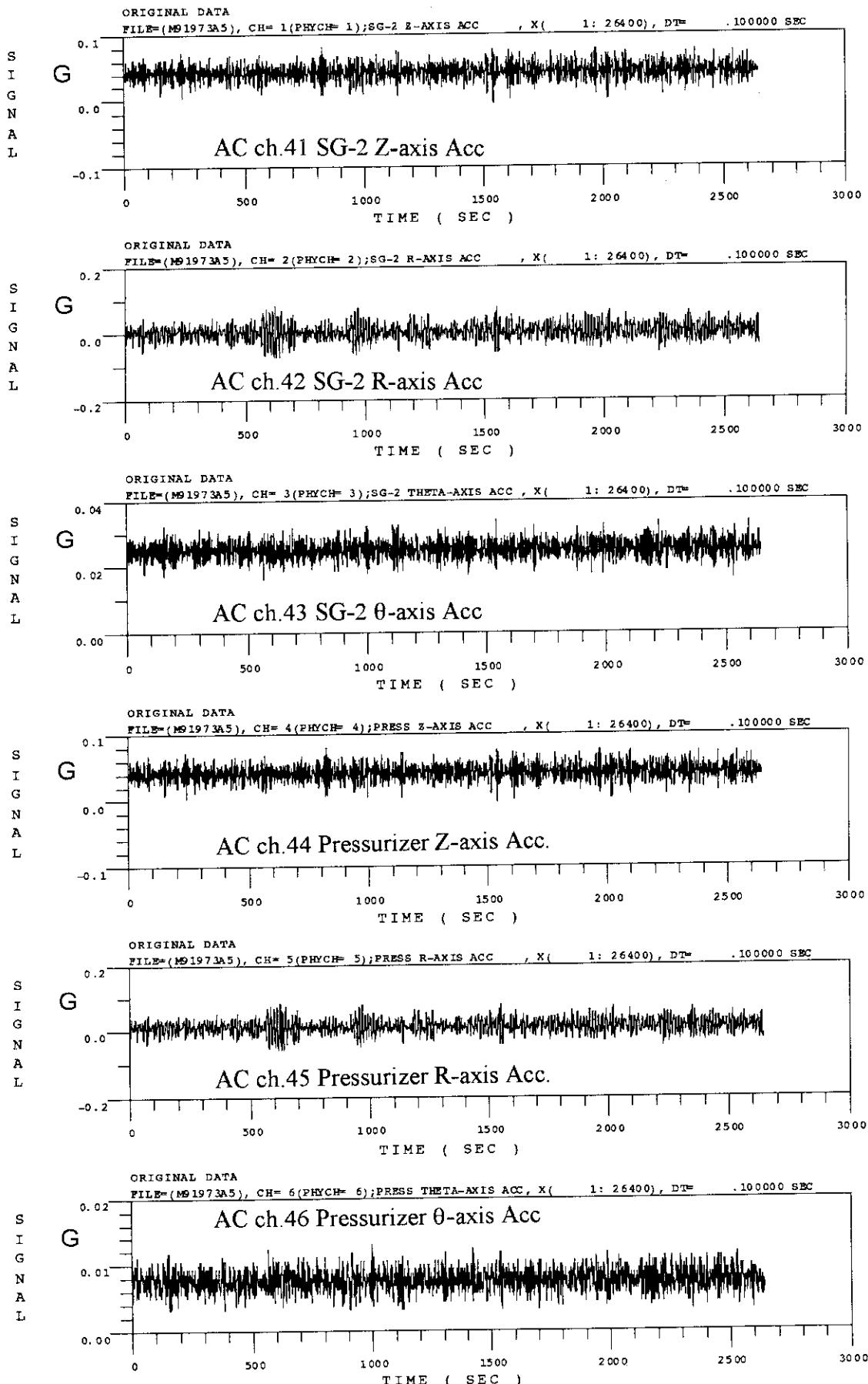


Fig.5.3(l) 第3回負荷外乱実験のAC信号(その12)

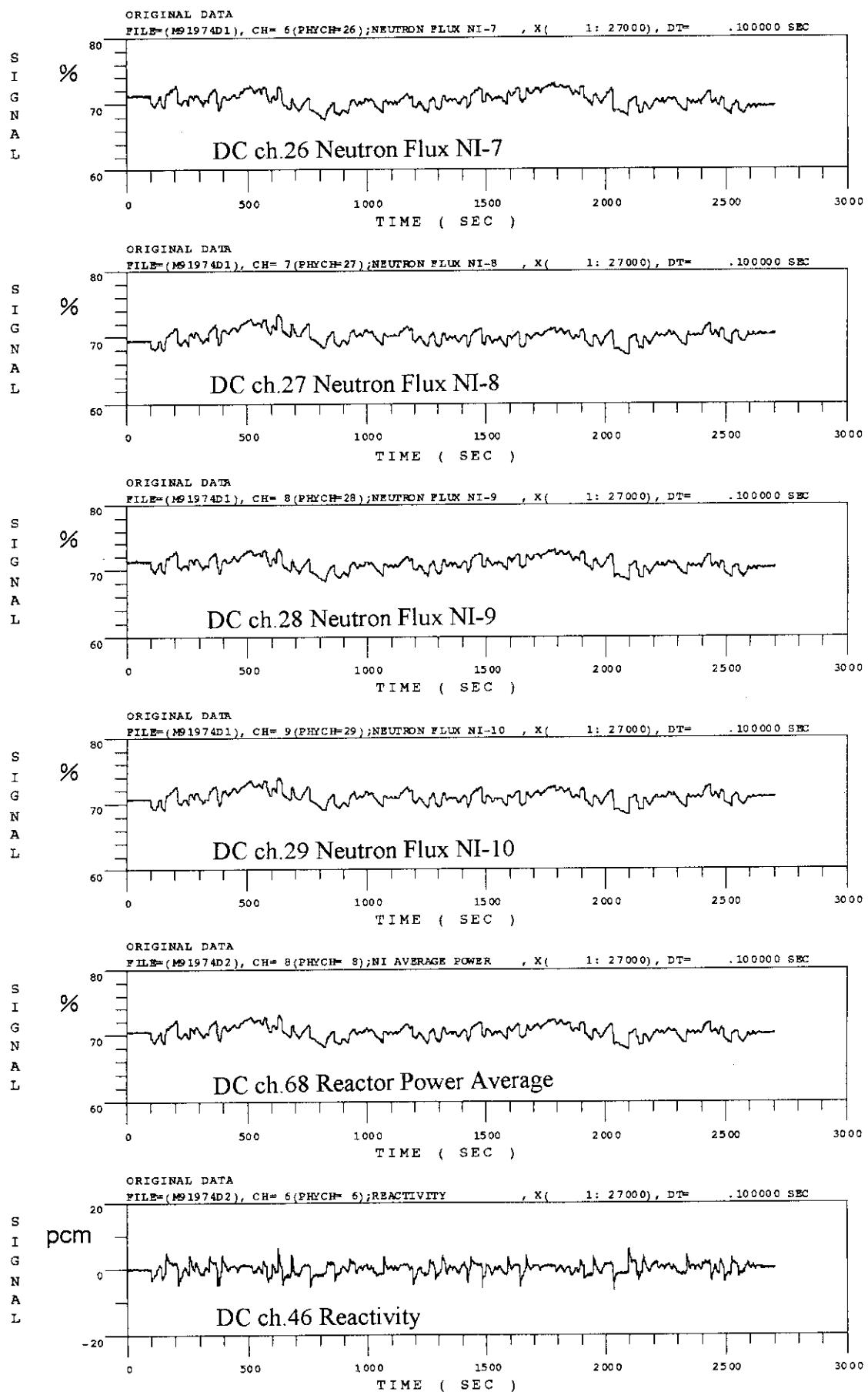


Fig.5.4(a) 第3回負荷外乱実験のDC信号(その1)

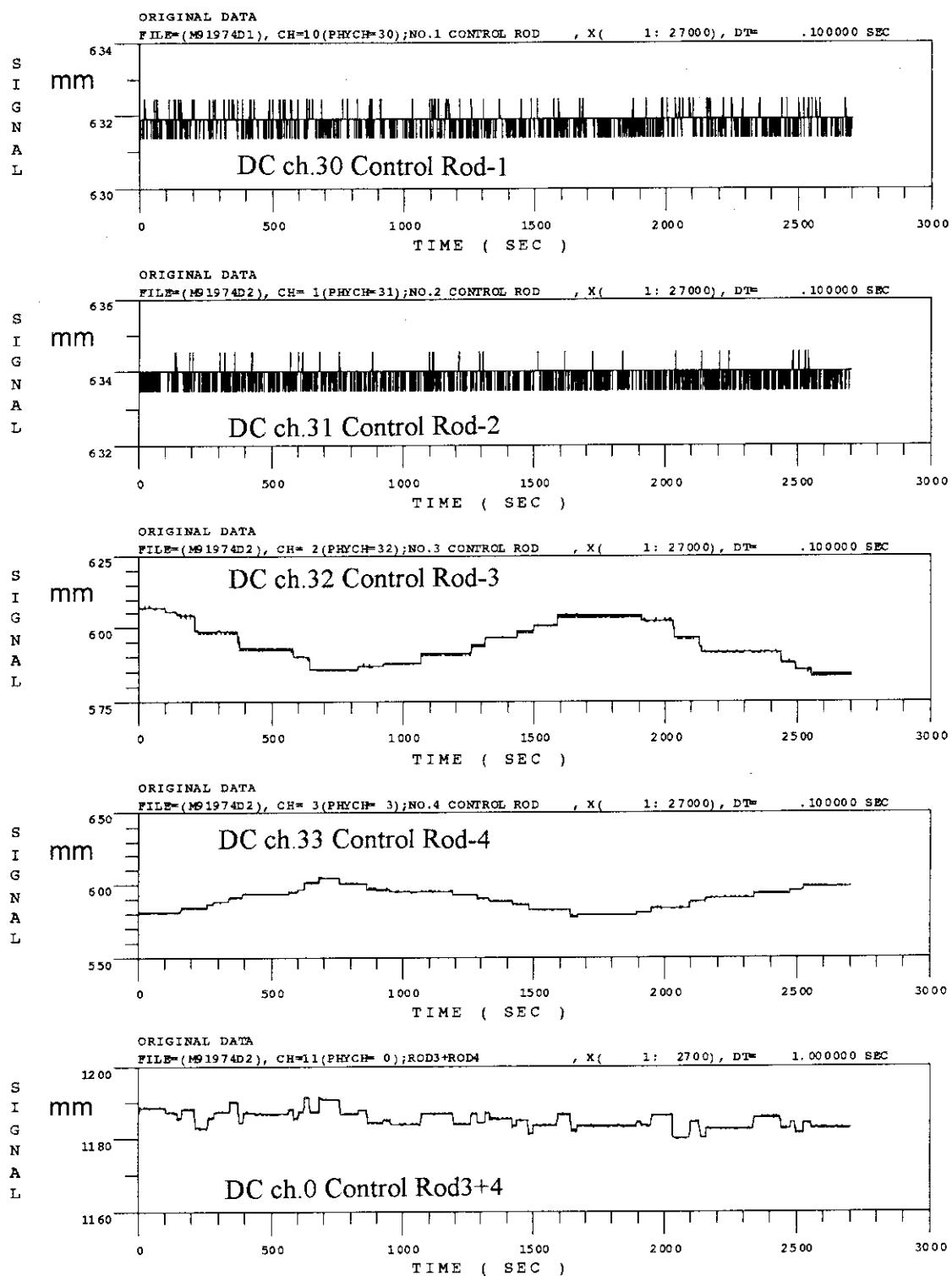


Fig.5.4(b) 第3回負荷外乱実験のDC信号(その2)

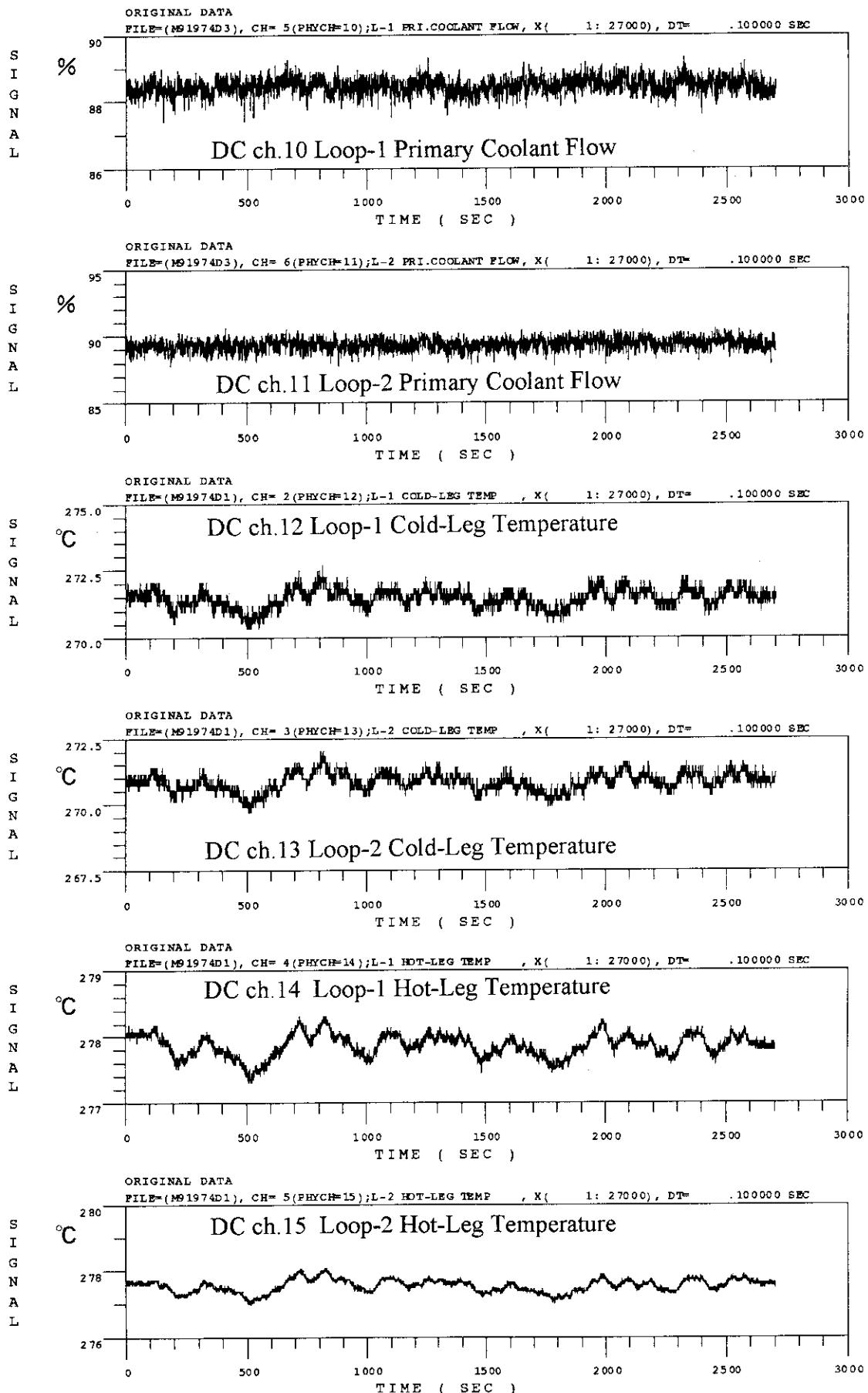


Fig.5.4(c) 第3回負荷外乱実験のDC信号(その3)

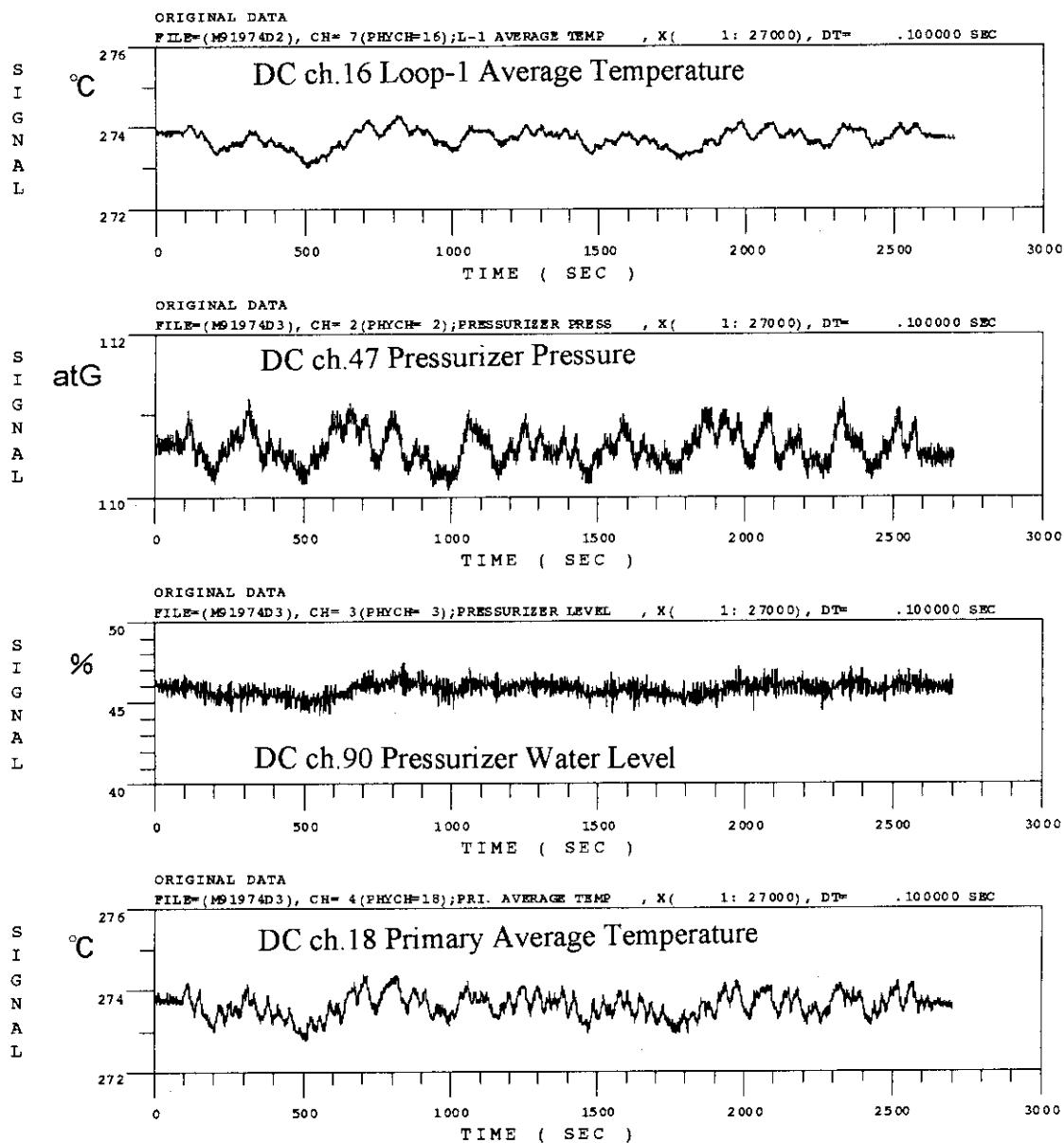


Fig.5.4(d) 第3回負荷外乱実験のDC信号(その4)

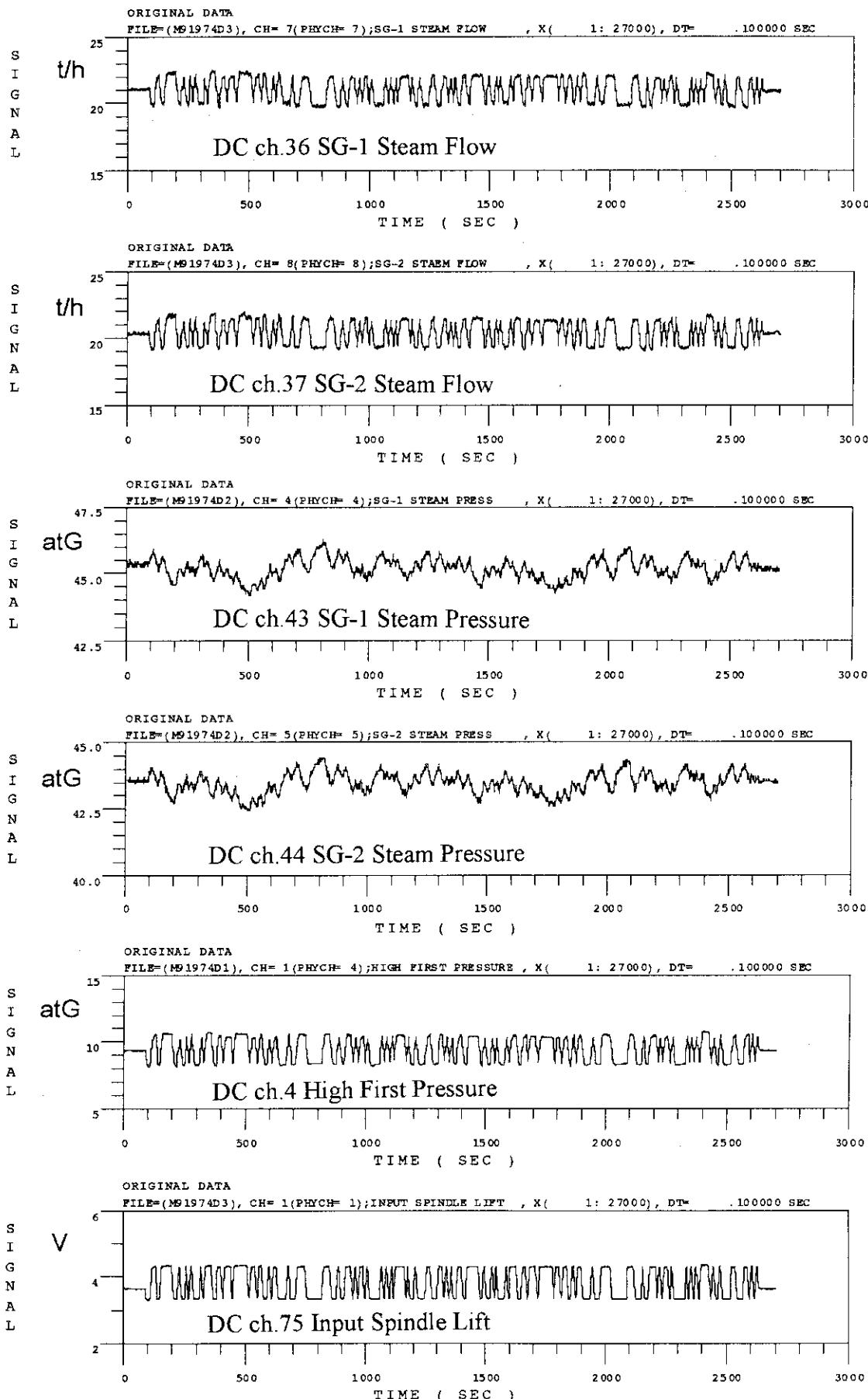


Fig.5.4(e) 第3回負荷外乱実験のDC信号(その5)

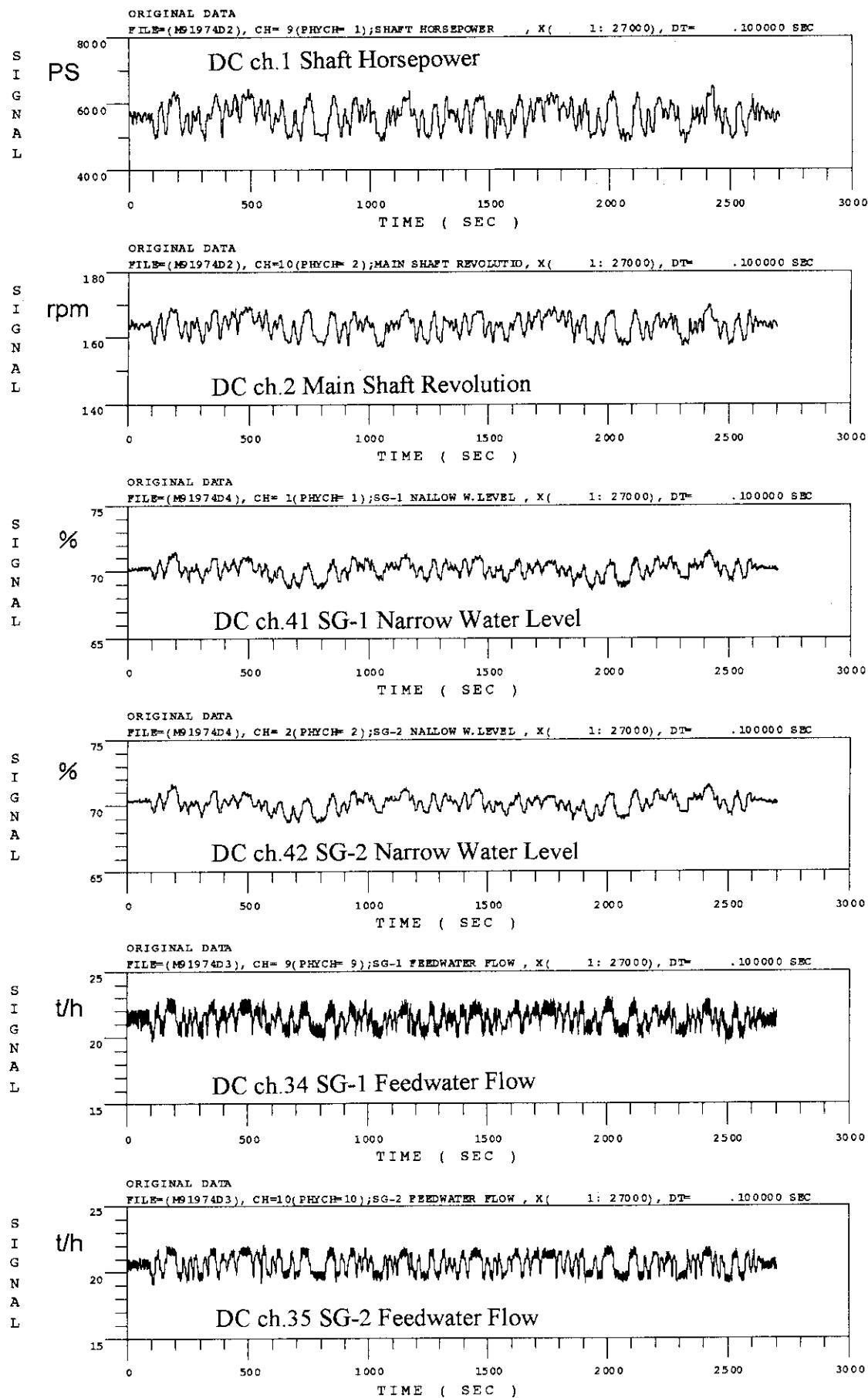


Fig.5.4(f) 第3回負荷外乱実験のDC信号(その6)

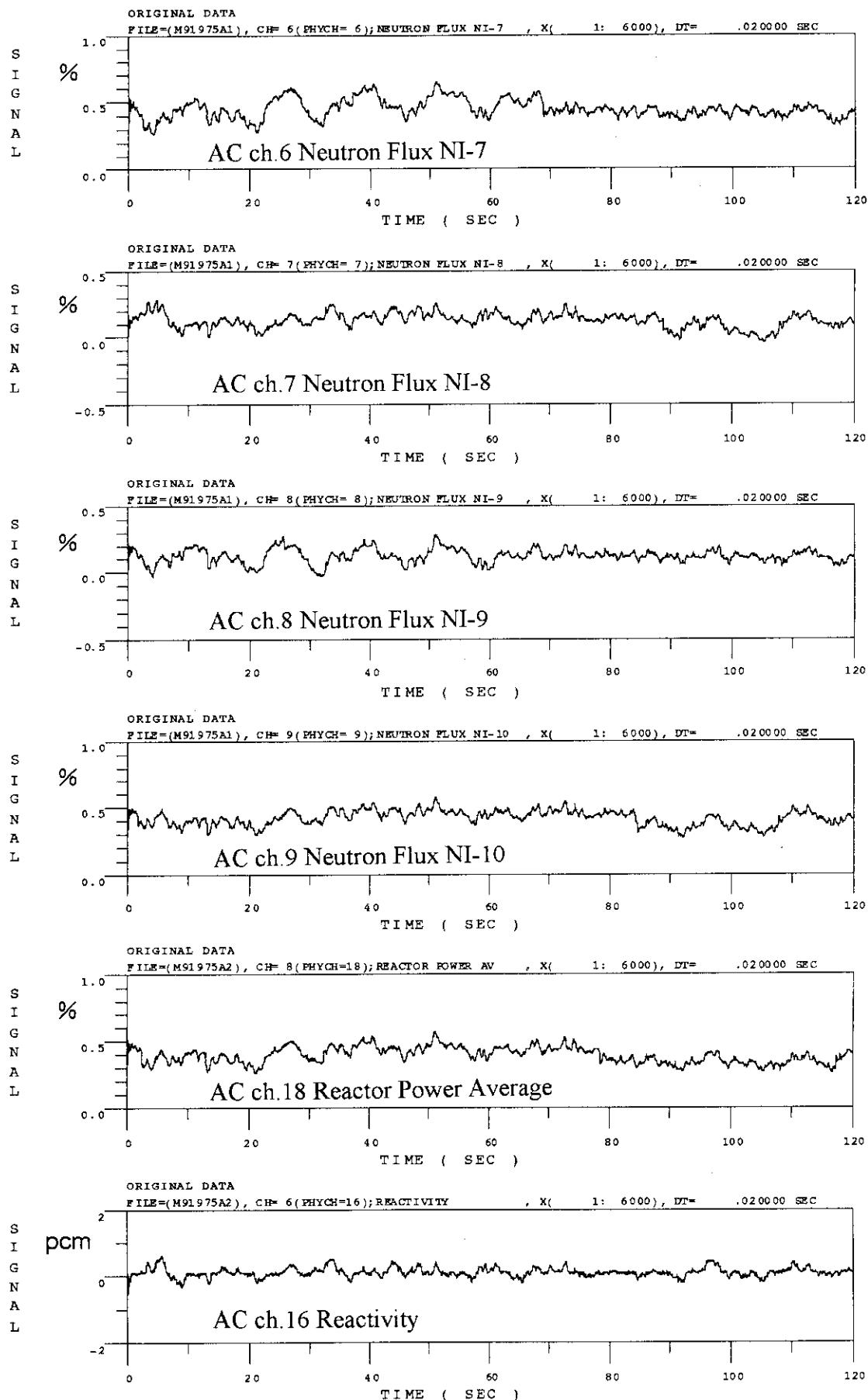


Fig.5.5(a) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その1)

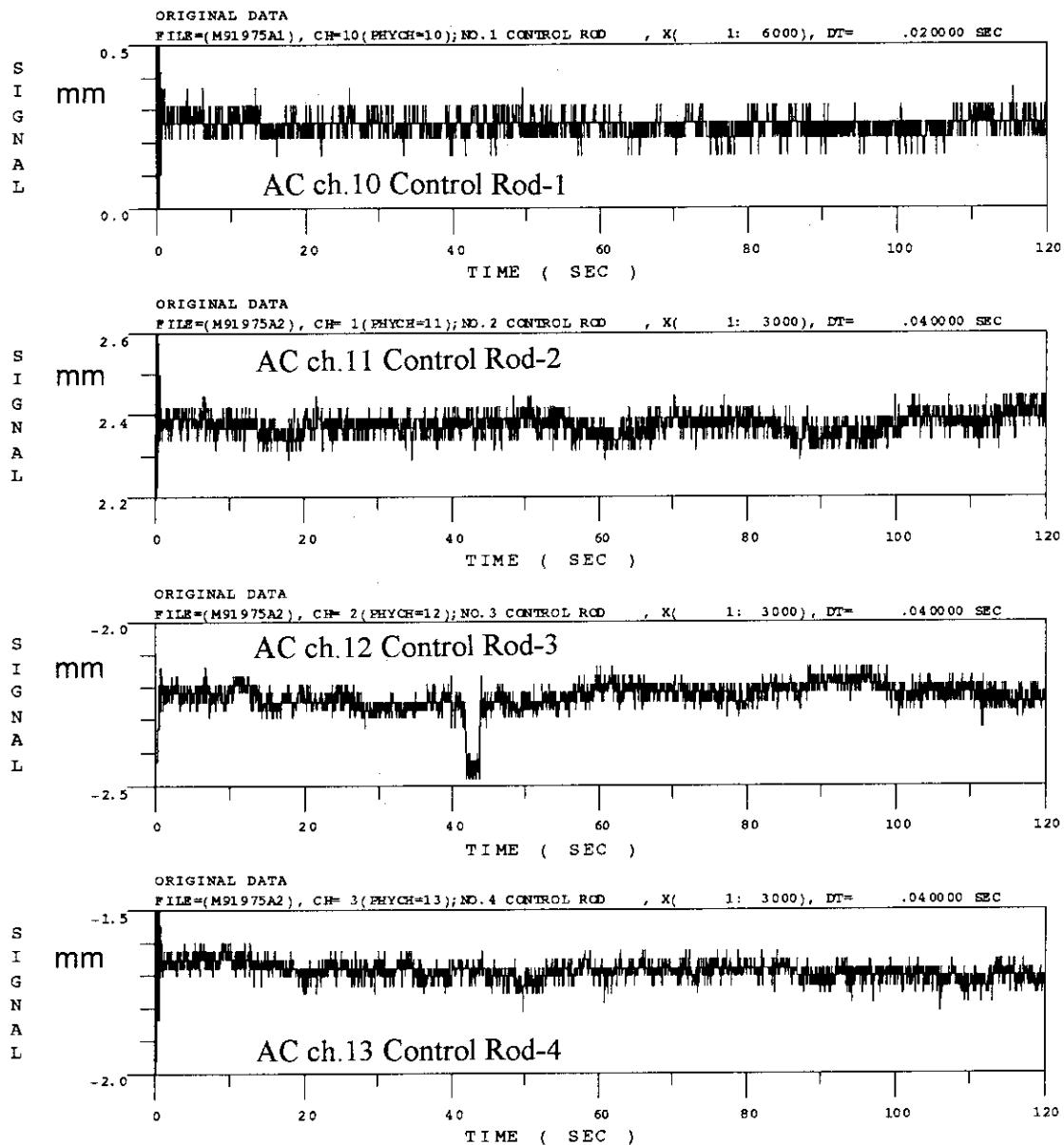


Fig.5.5(b) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル; その2)

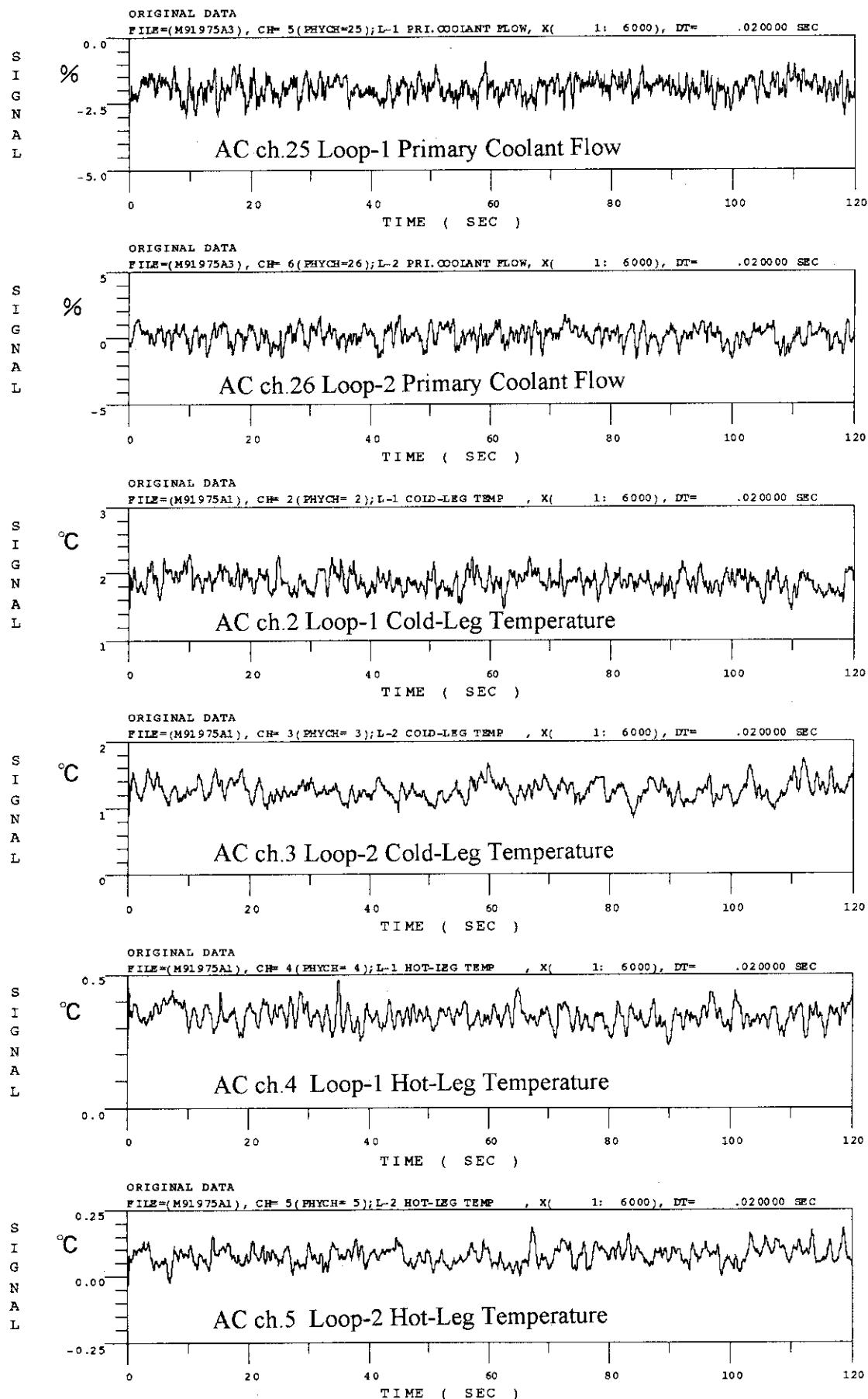


Fig.5.5(c) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その3)

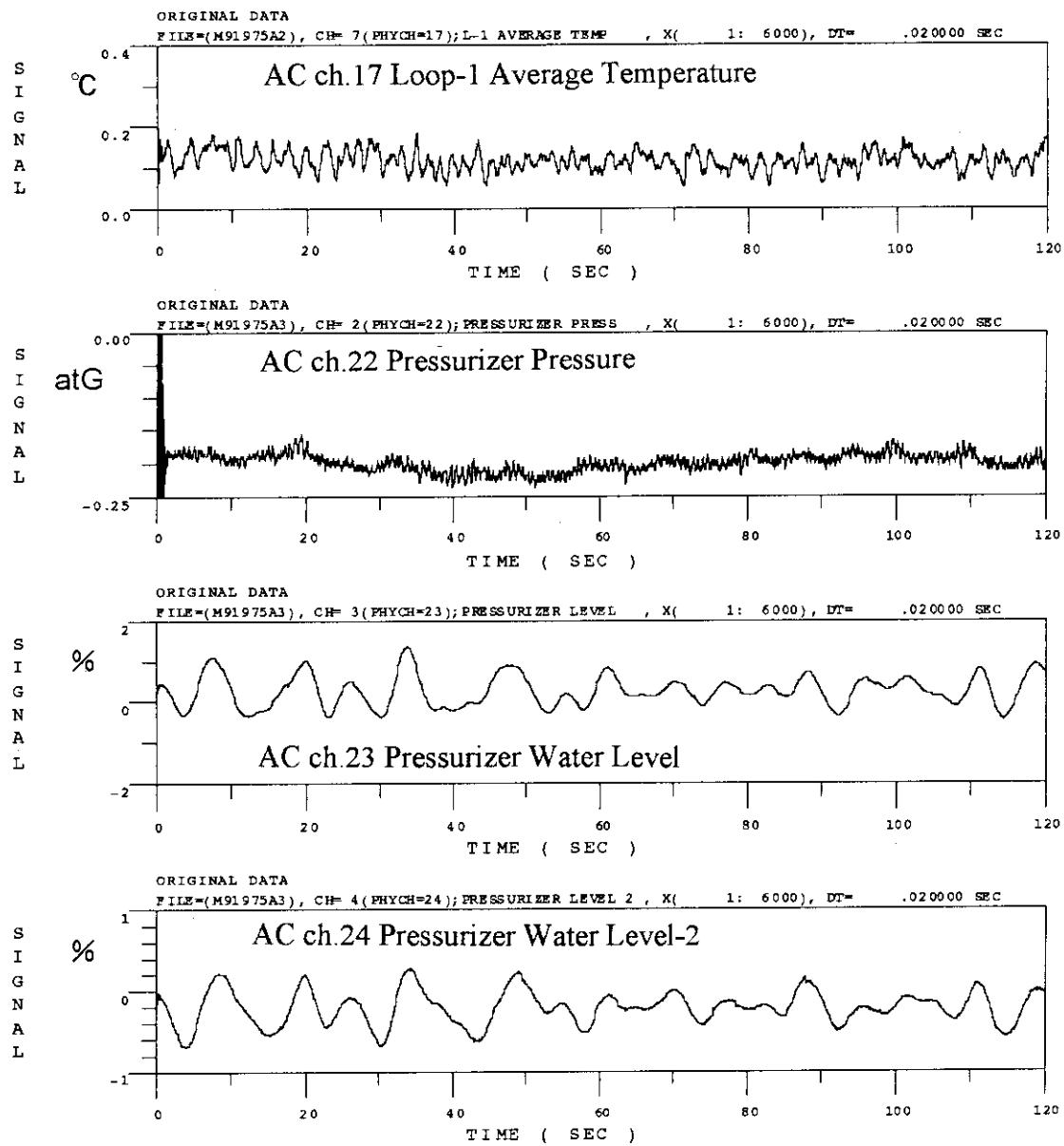


Fig.5.5(d) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その4)

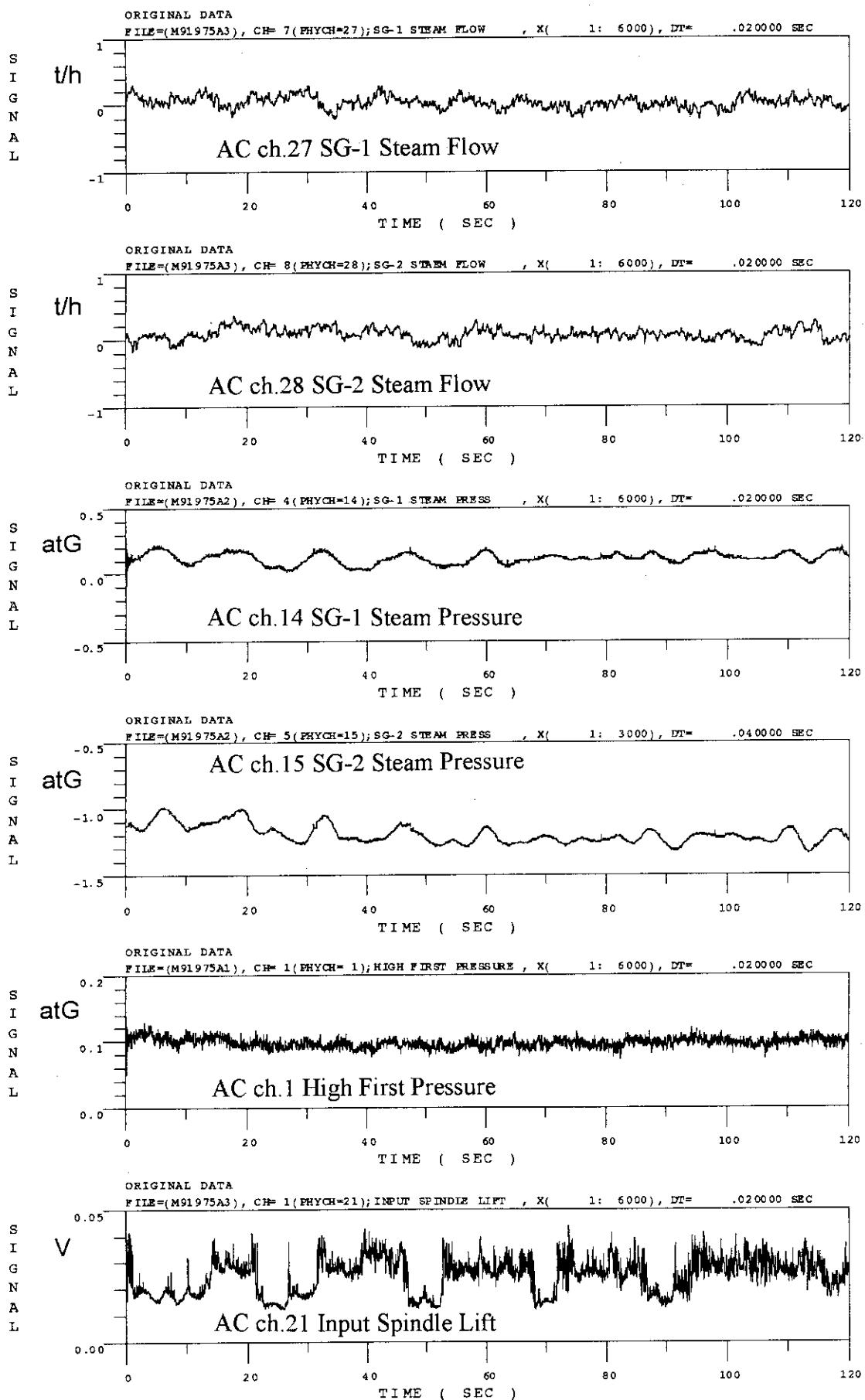


Fig.5.5(e) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その5)

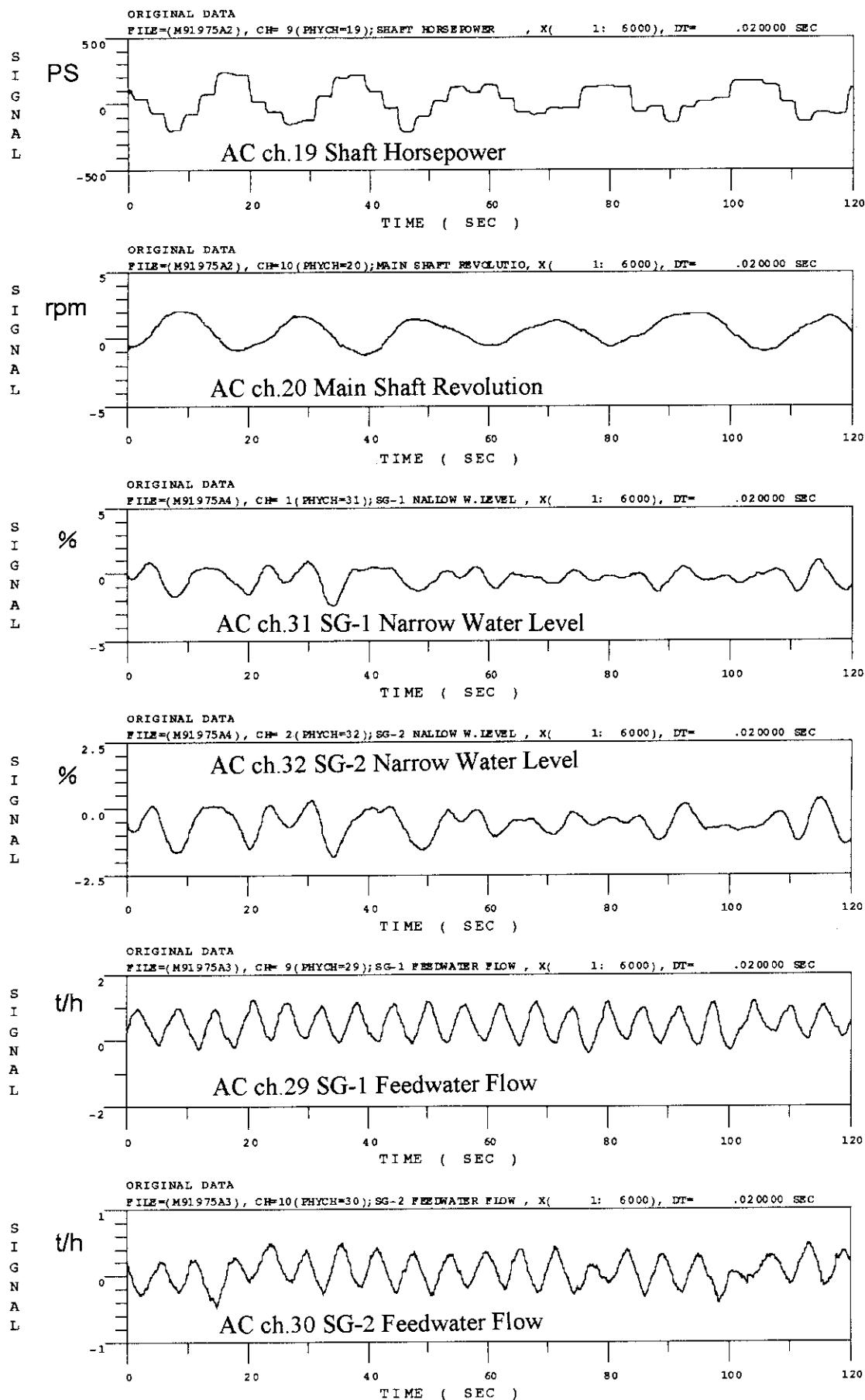


Fig.5.5(f) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その6)

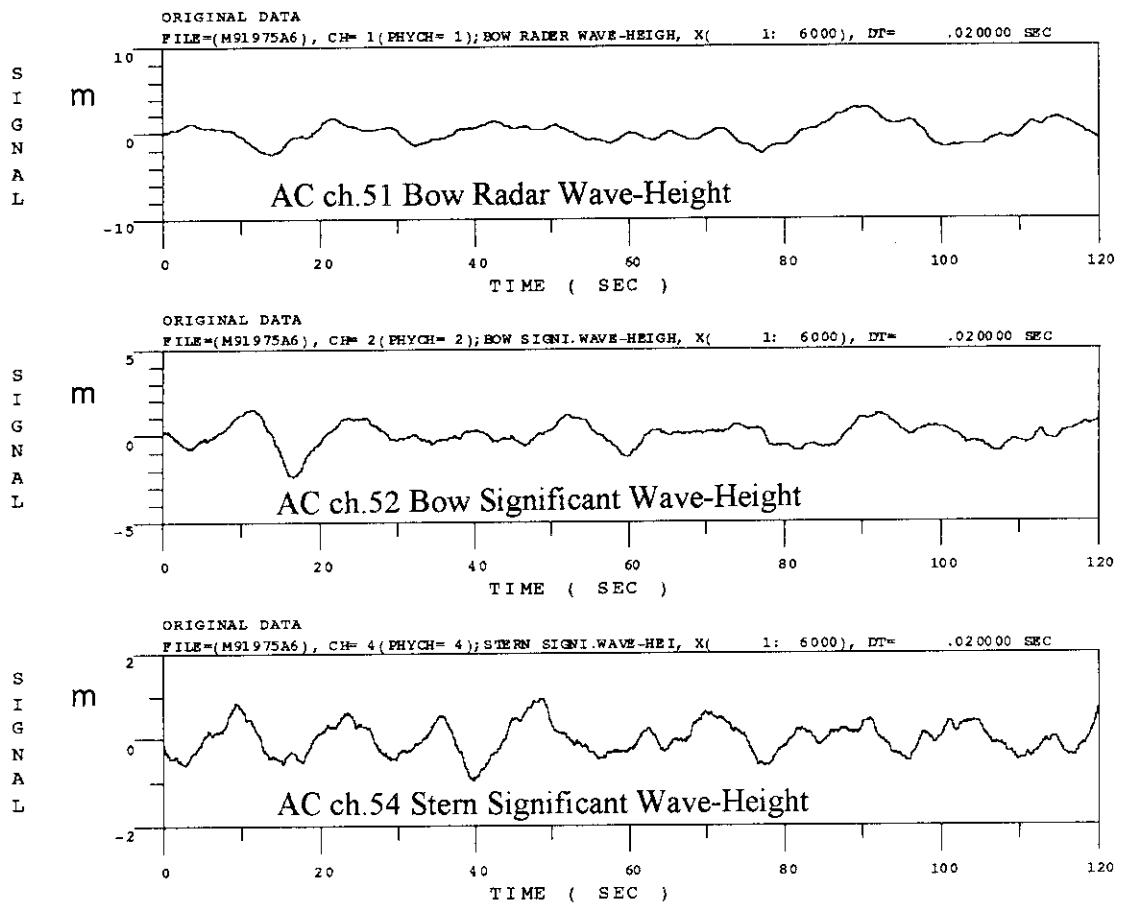


Fig.5.5(g) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その7)

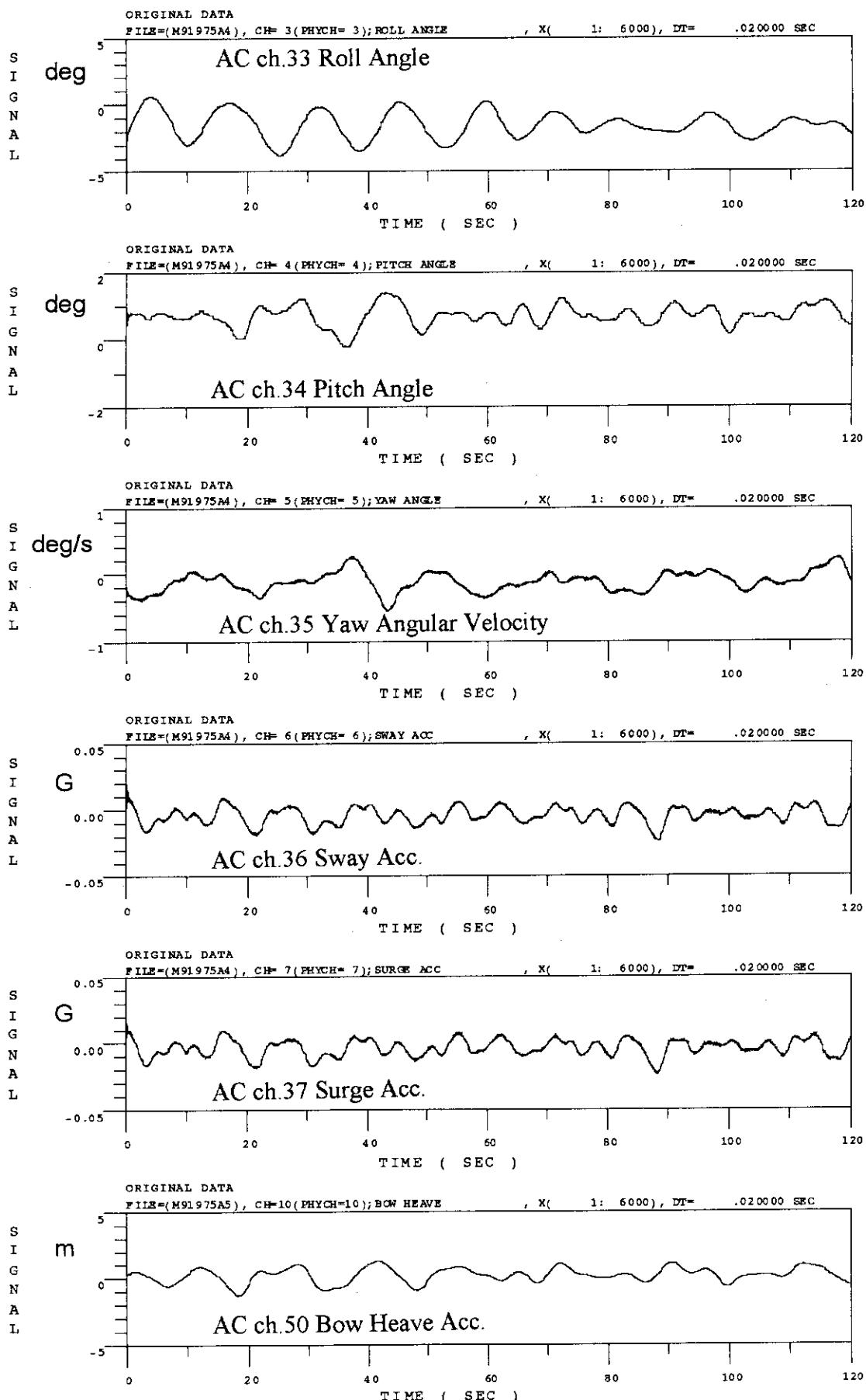


Fig.5.5(h) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その8)

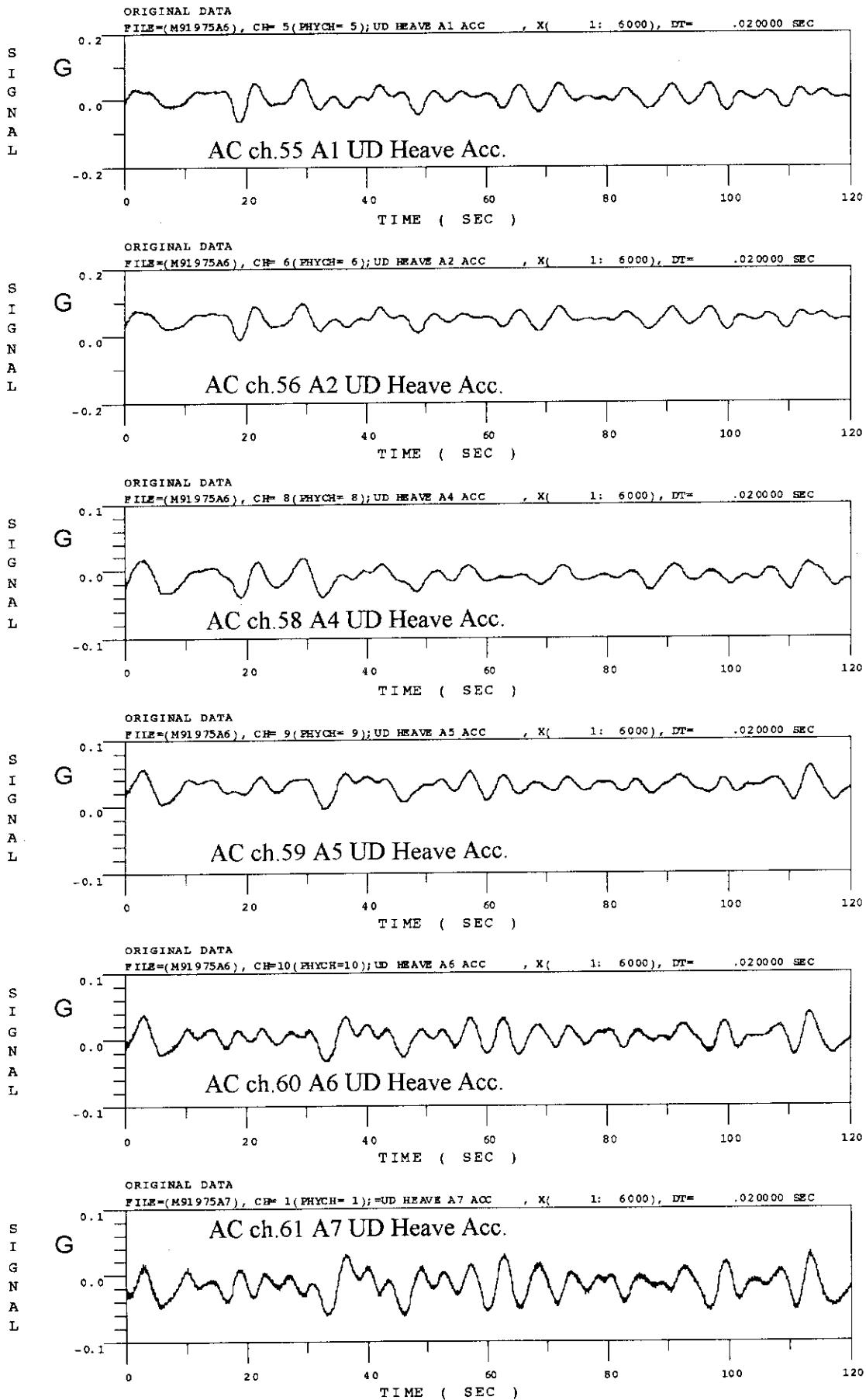


Fig.5.5(i) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル; その9)

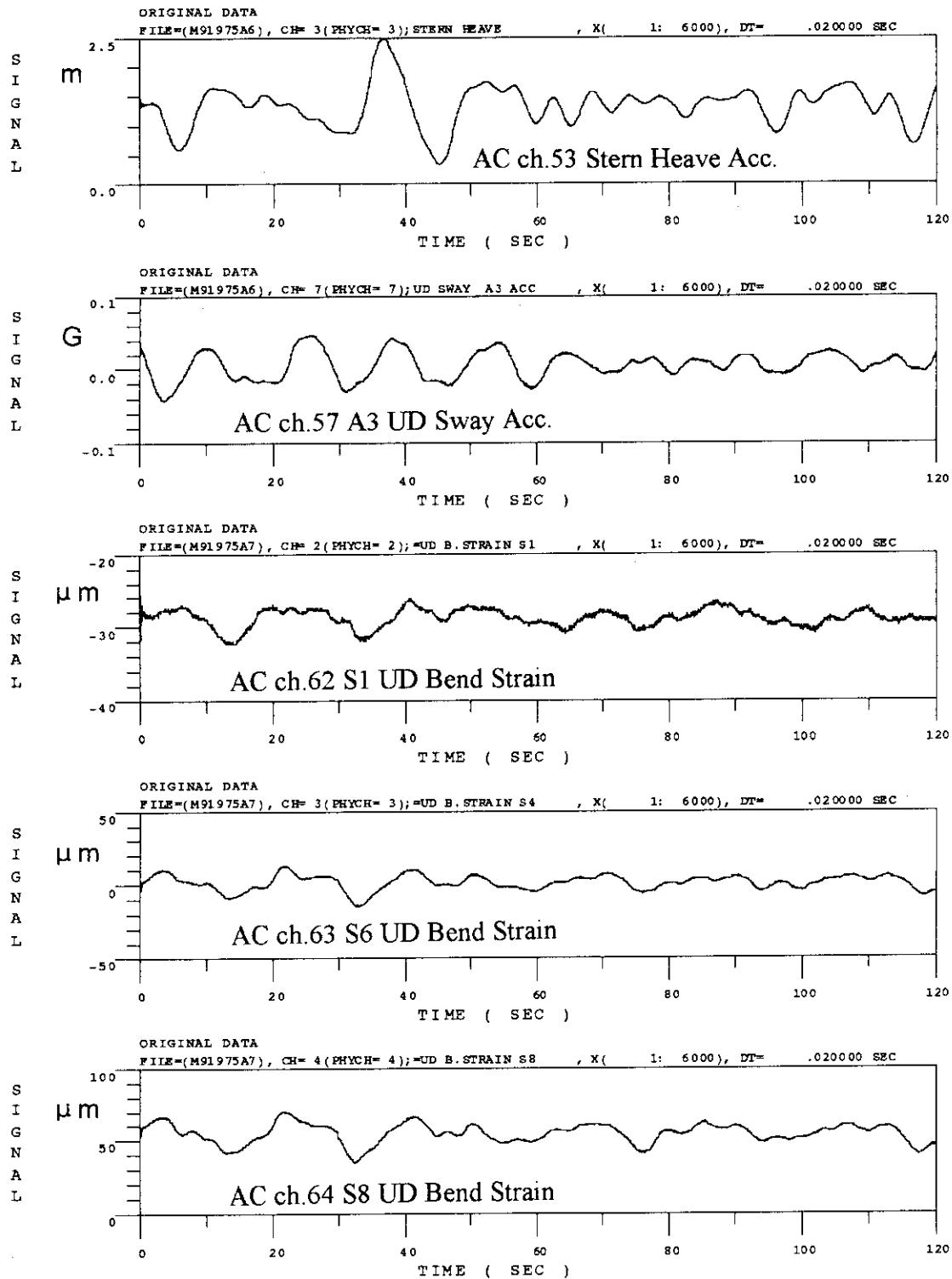


Fig.5.5(j) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その10)

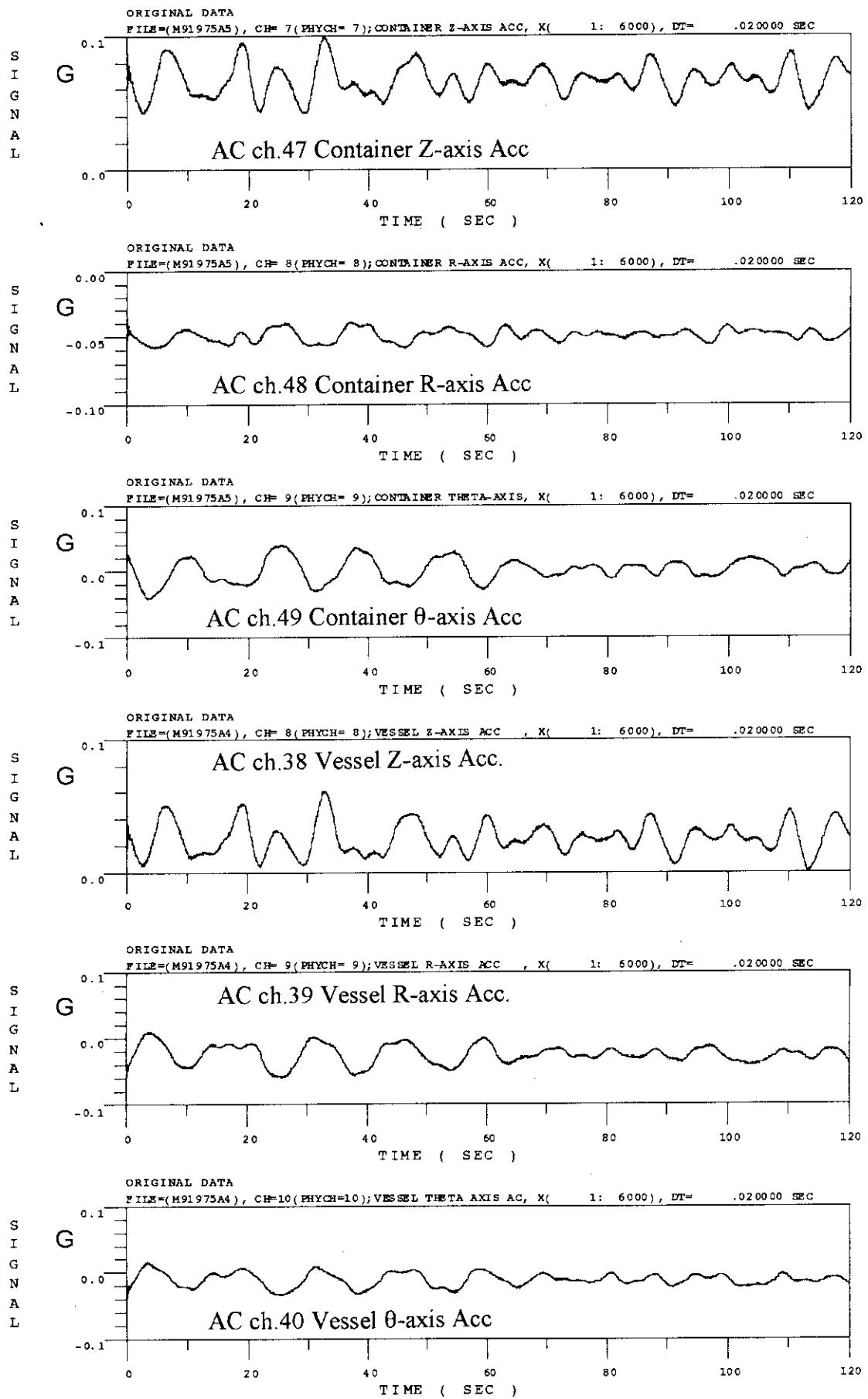


Fig.5.5(k) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル; その11)

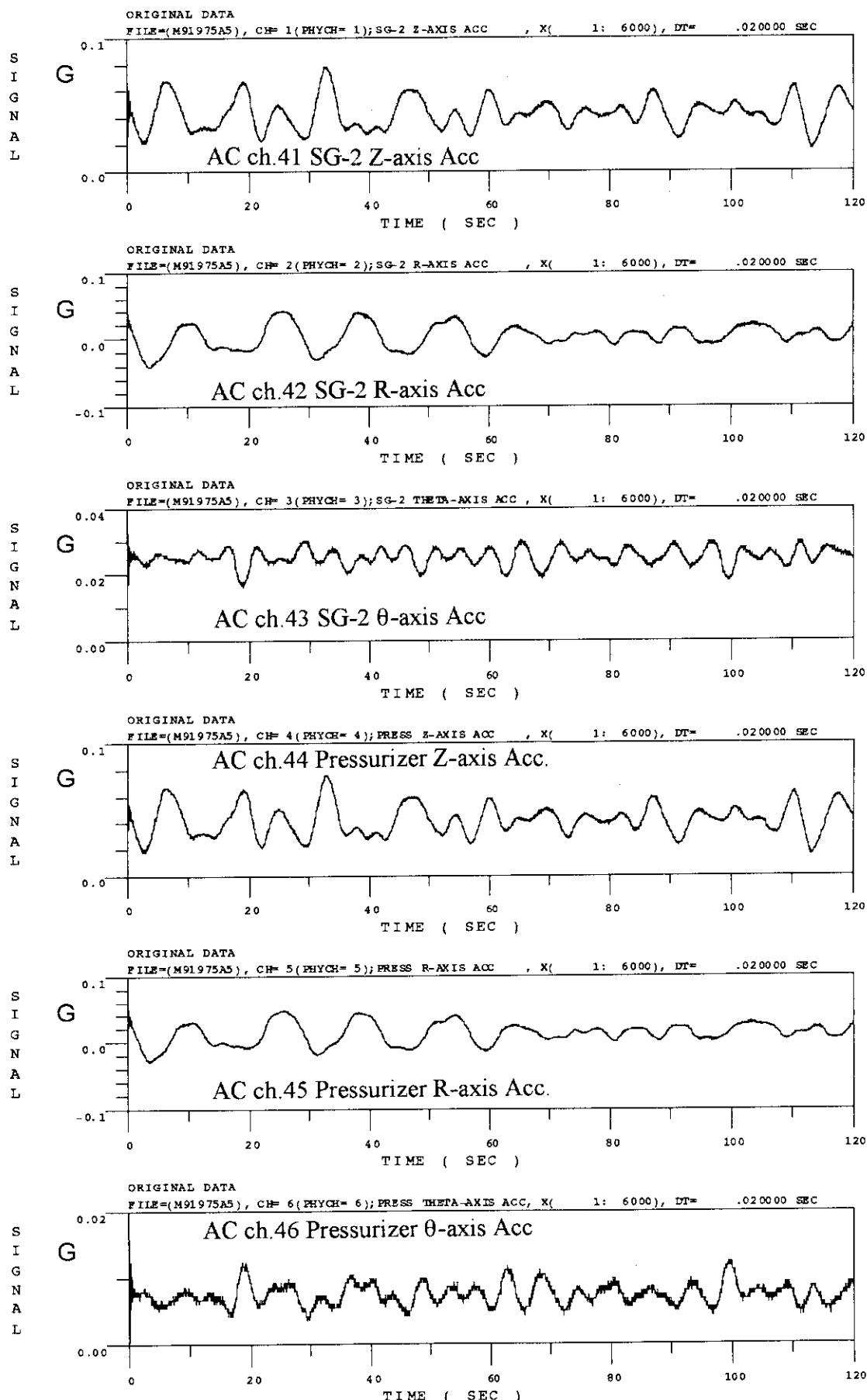


Fig.5.5(l) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル；その12)

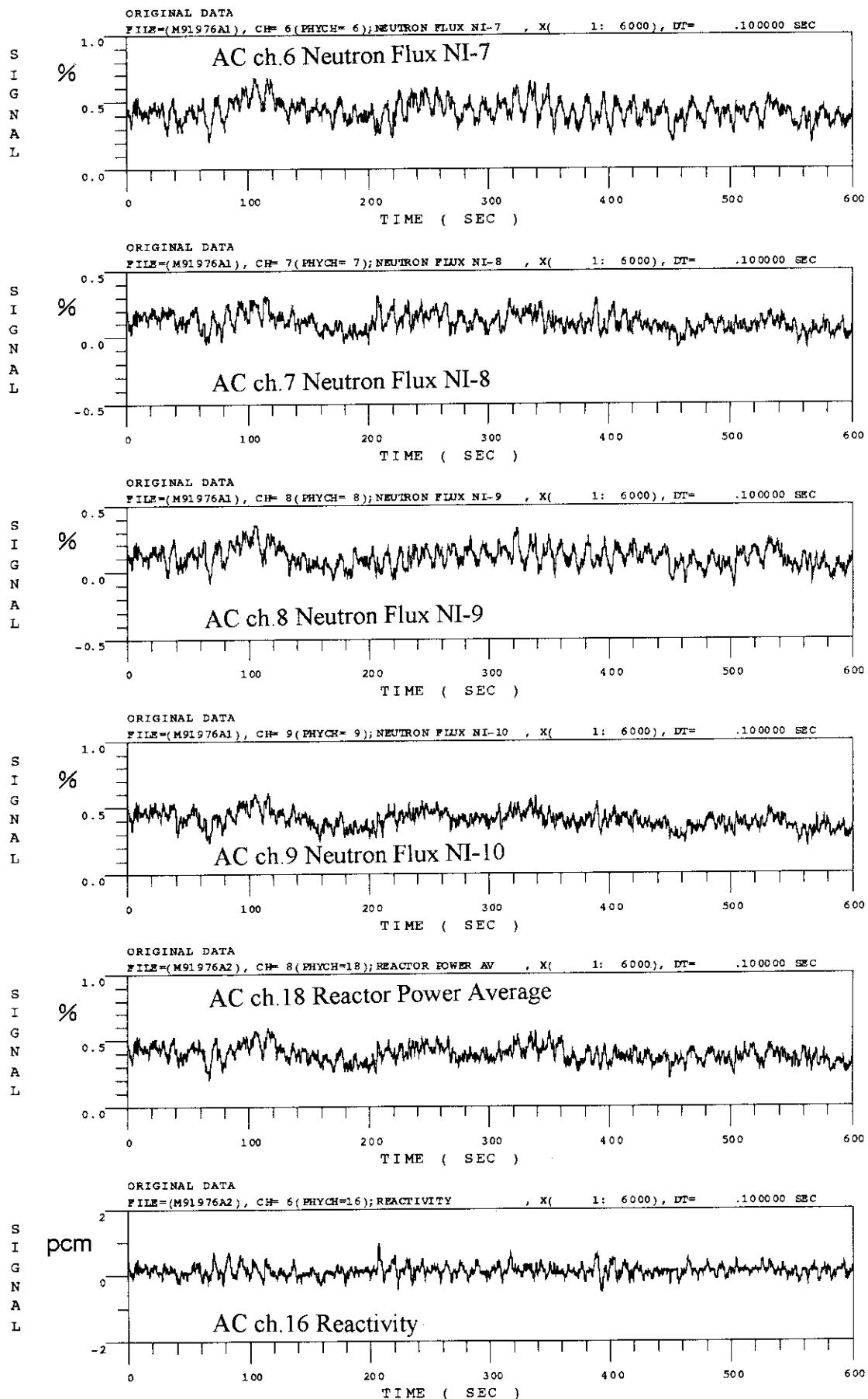


Fig.5.6(a) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル; その1)

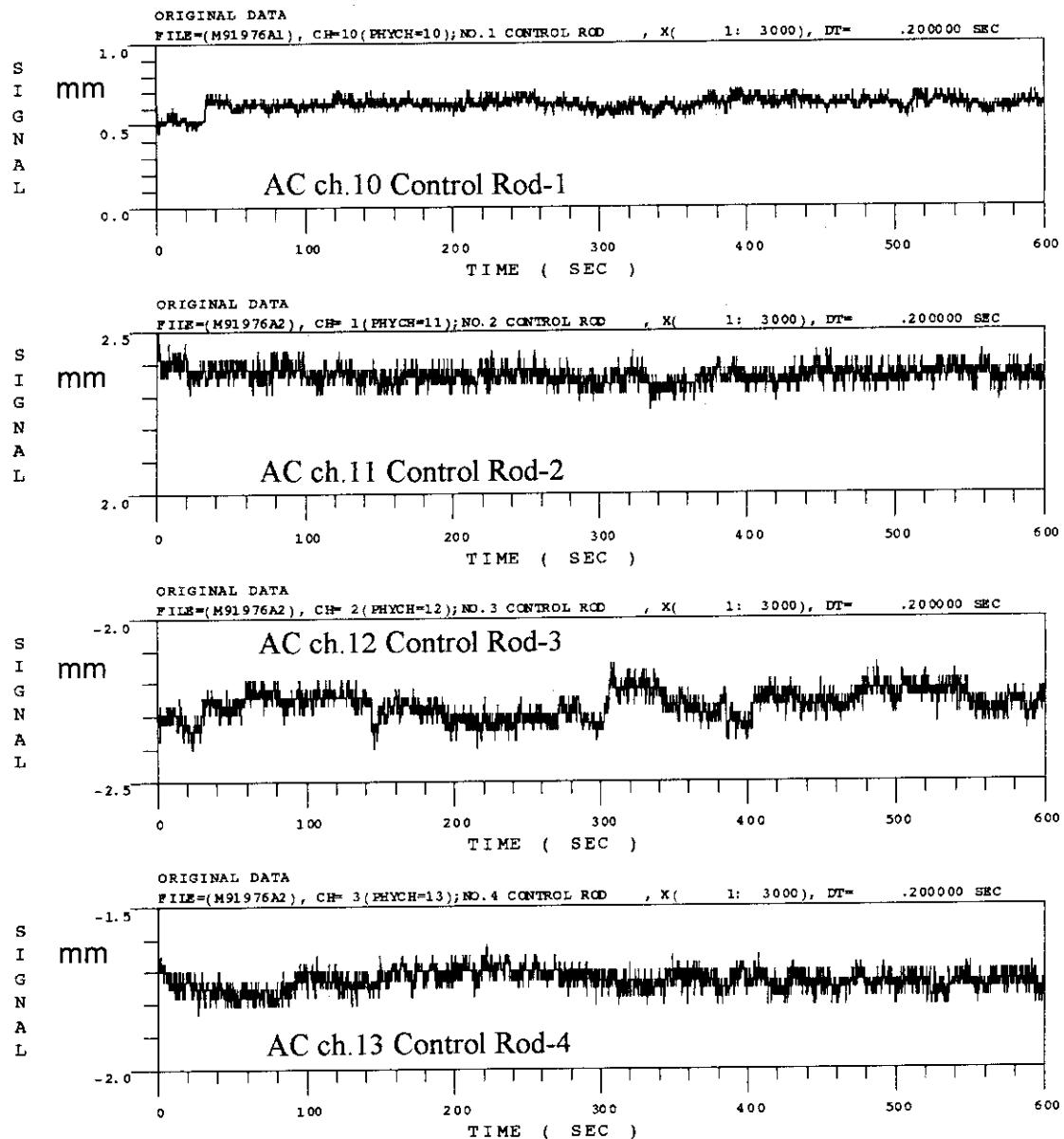


Fig.5.6(b) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル; その2)

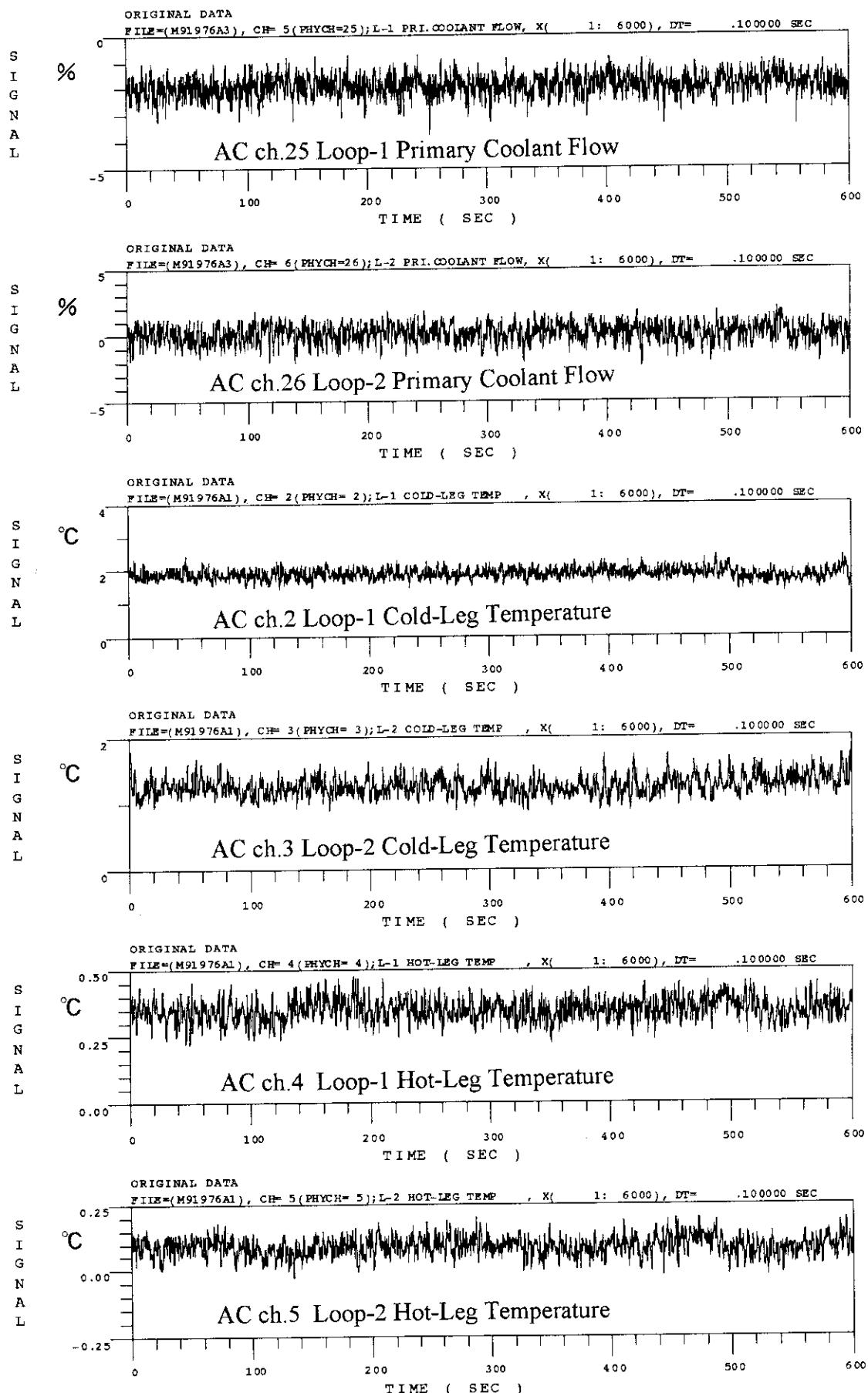


Fig.5.6(c) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その3)

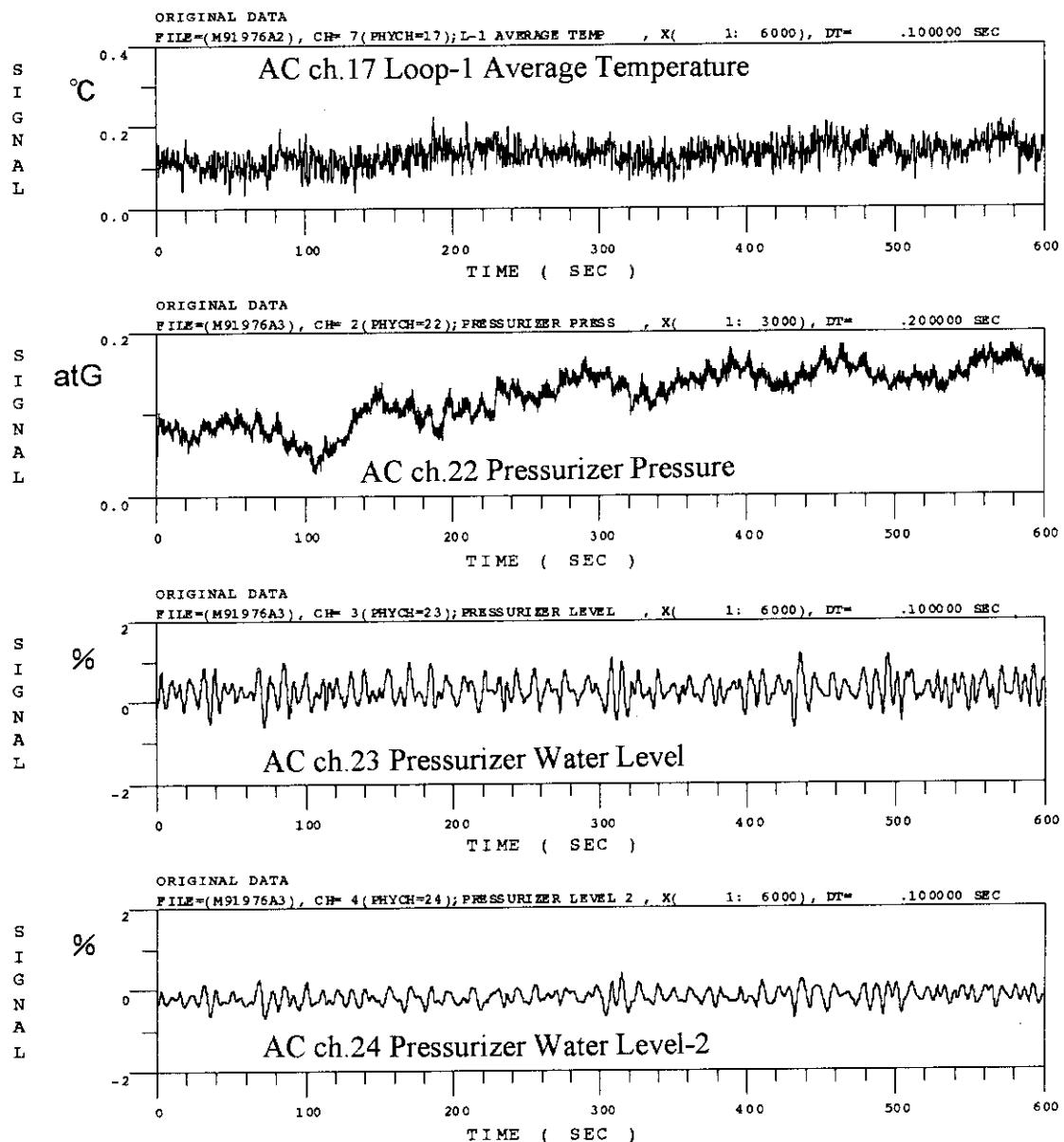


Fig.5.6(d) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その4)

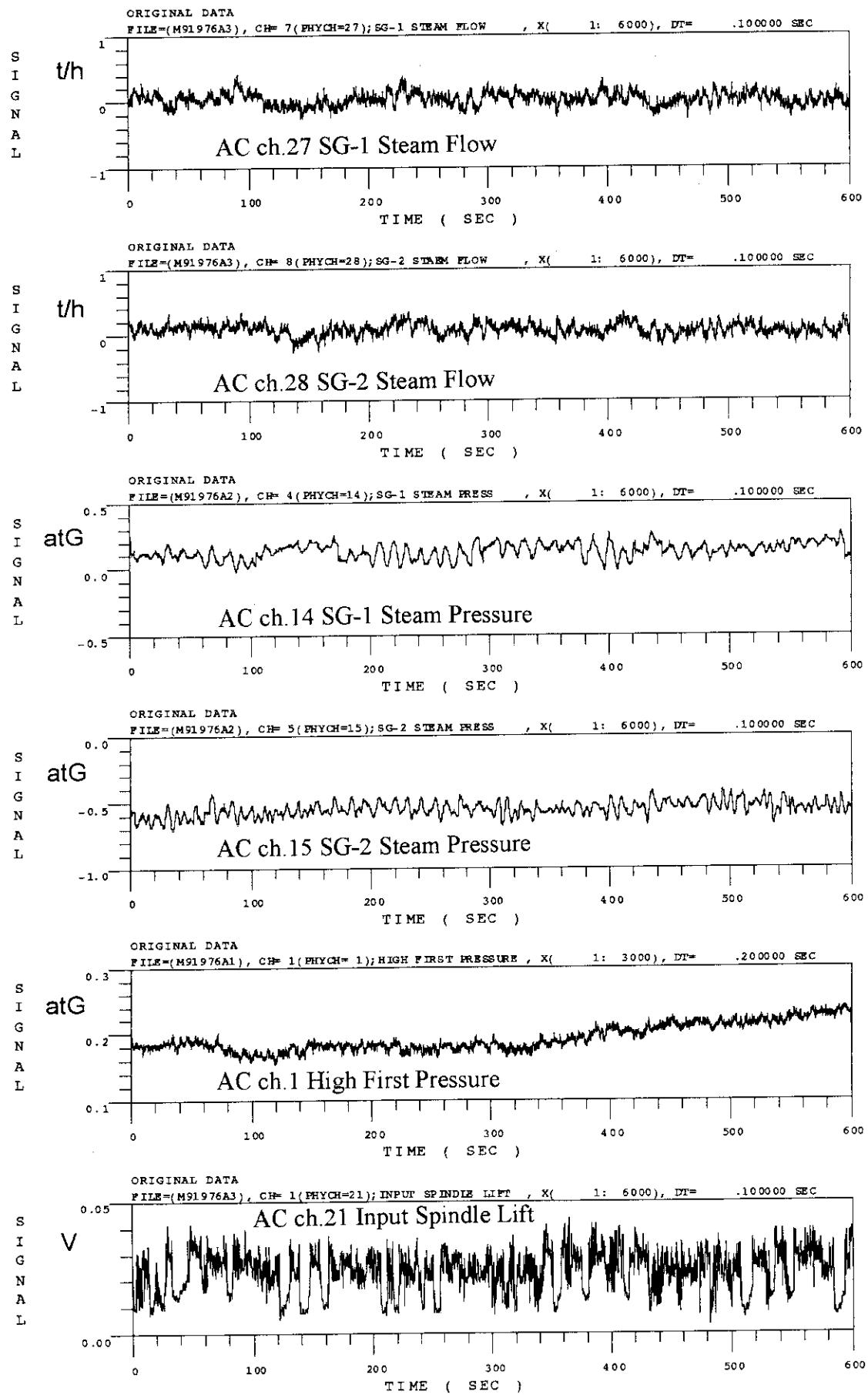


Fig.5.6(e) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その5)

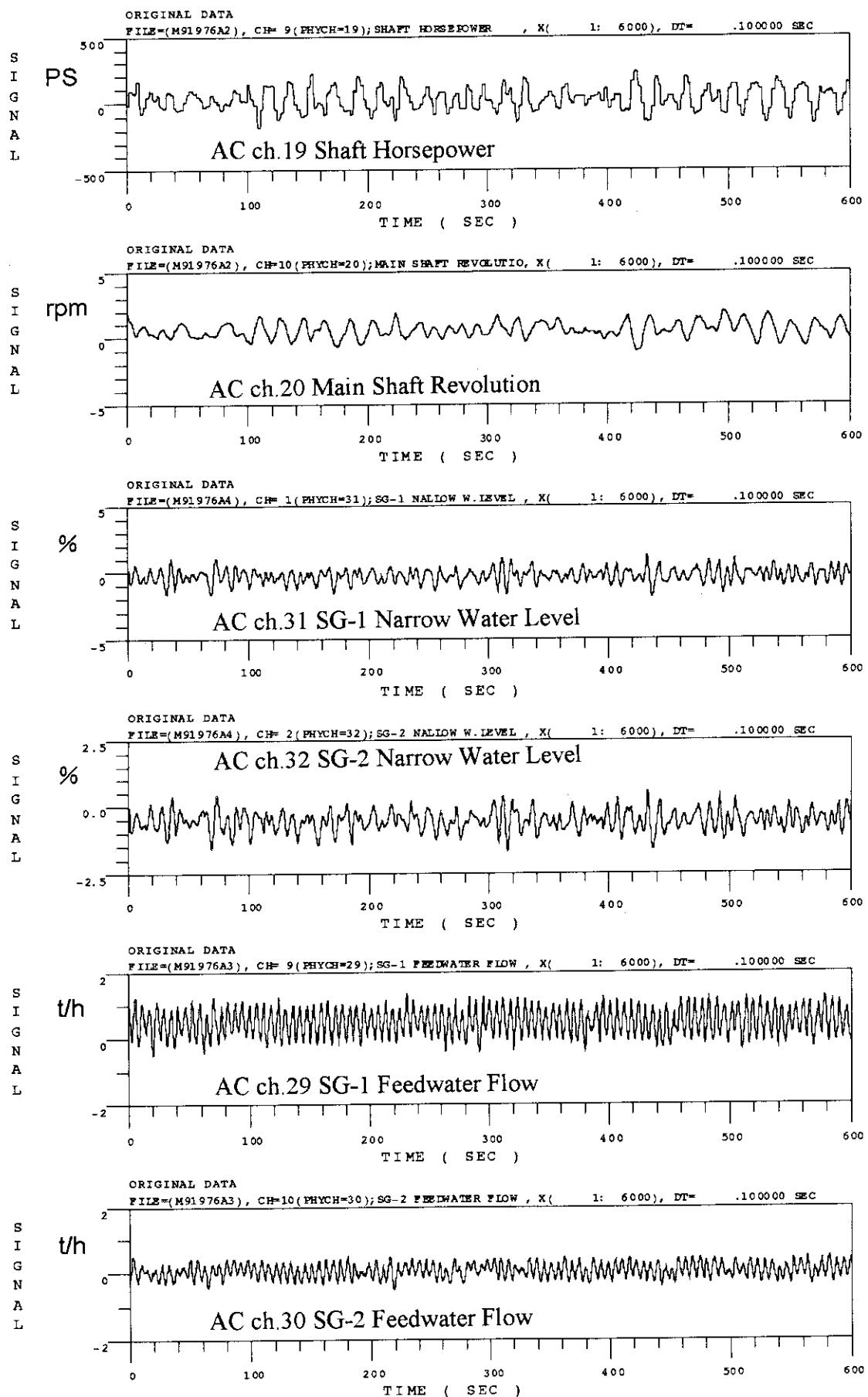


Fig.5.6(f) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル; その6)

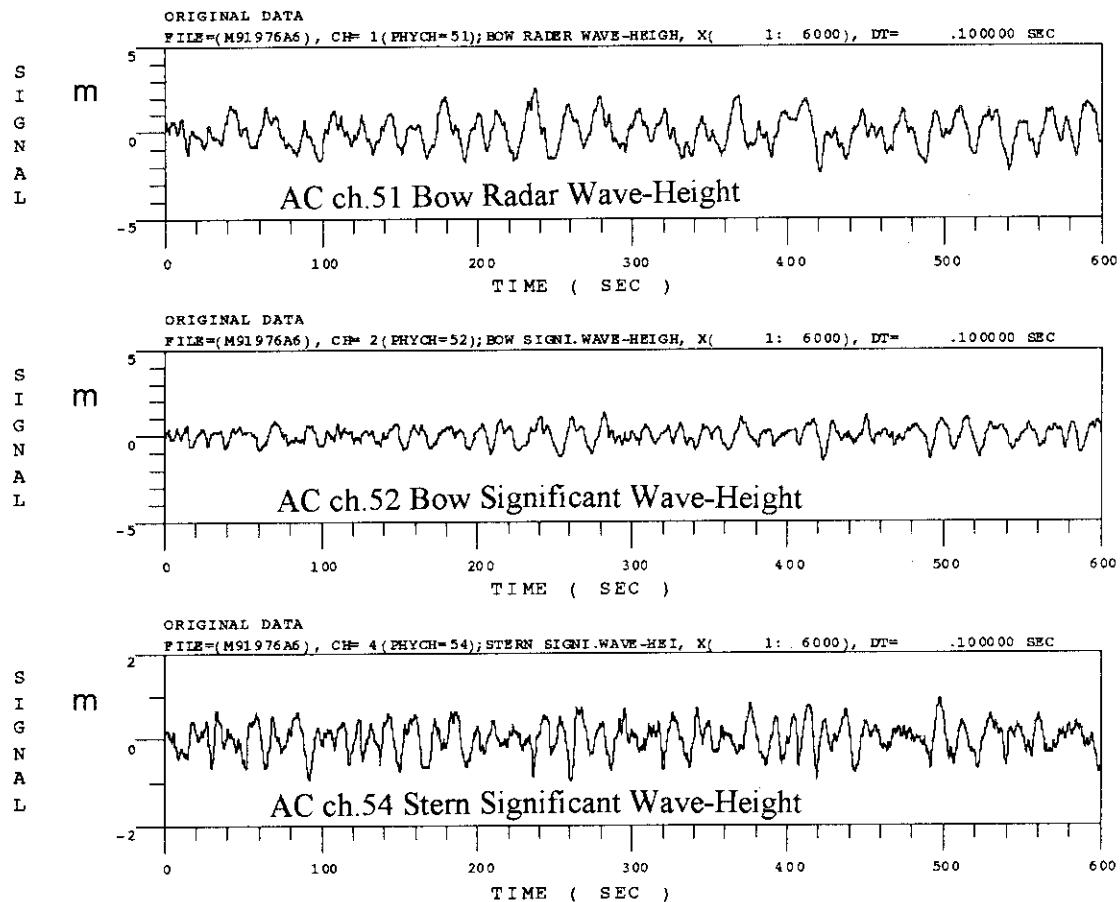


Fig.5.6(g) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その7)

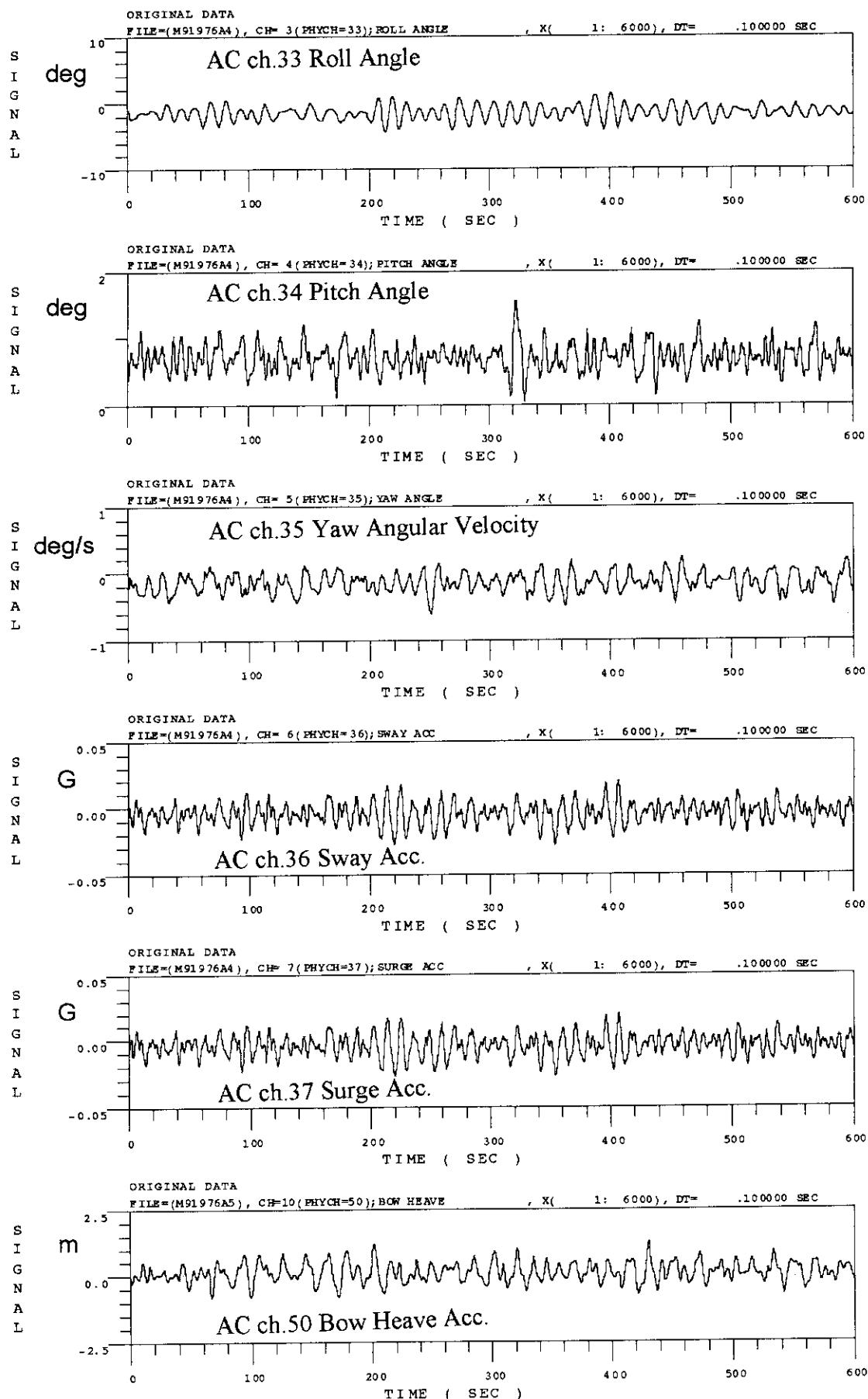


Fig.5.6(h) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その8)

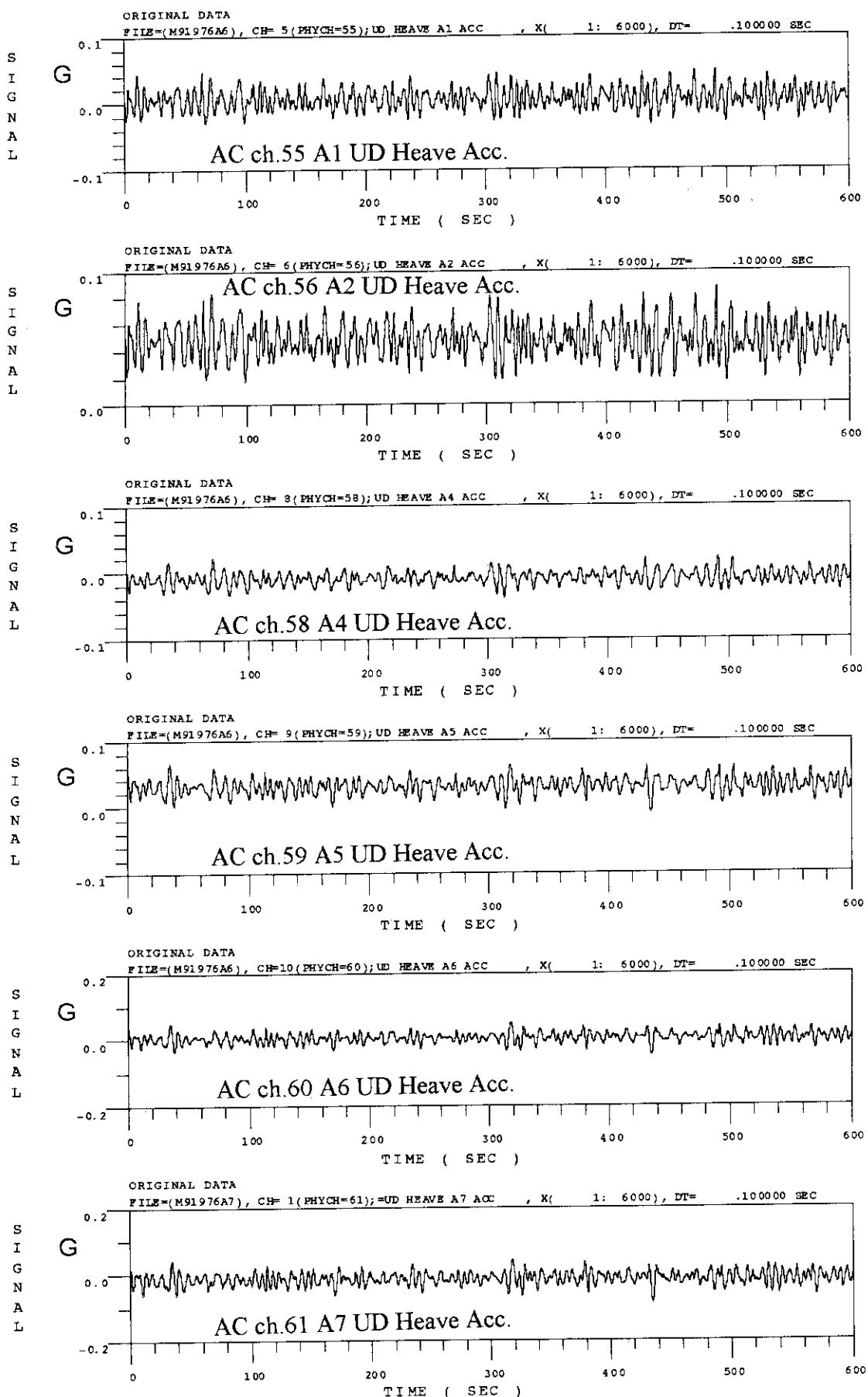


Fig.5.6(i) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その9)

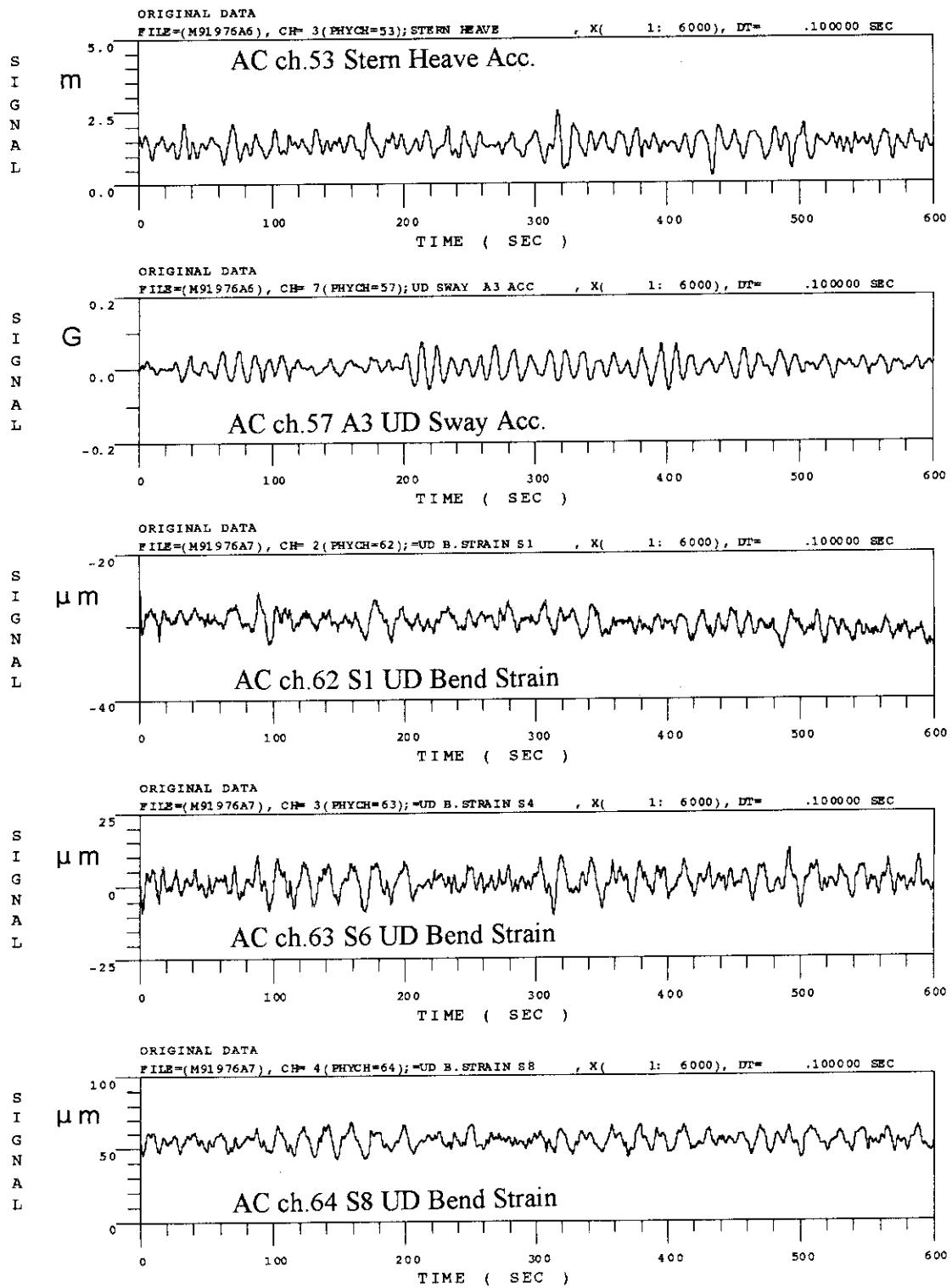


Fig.5.6(j) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル; その10)

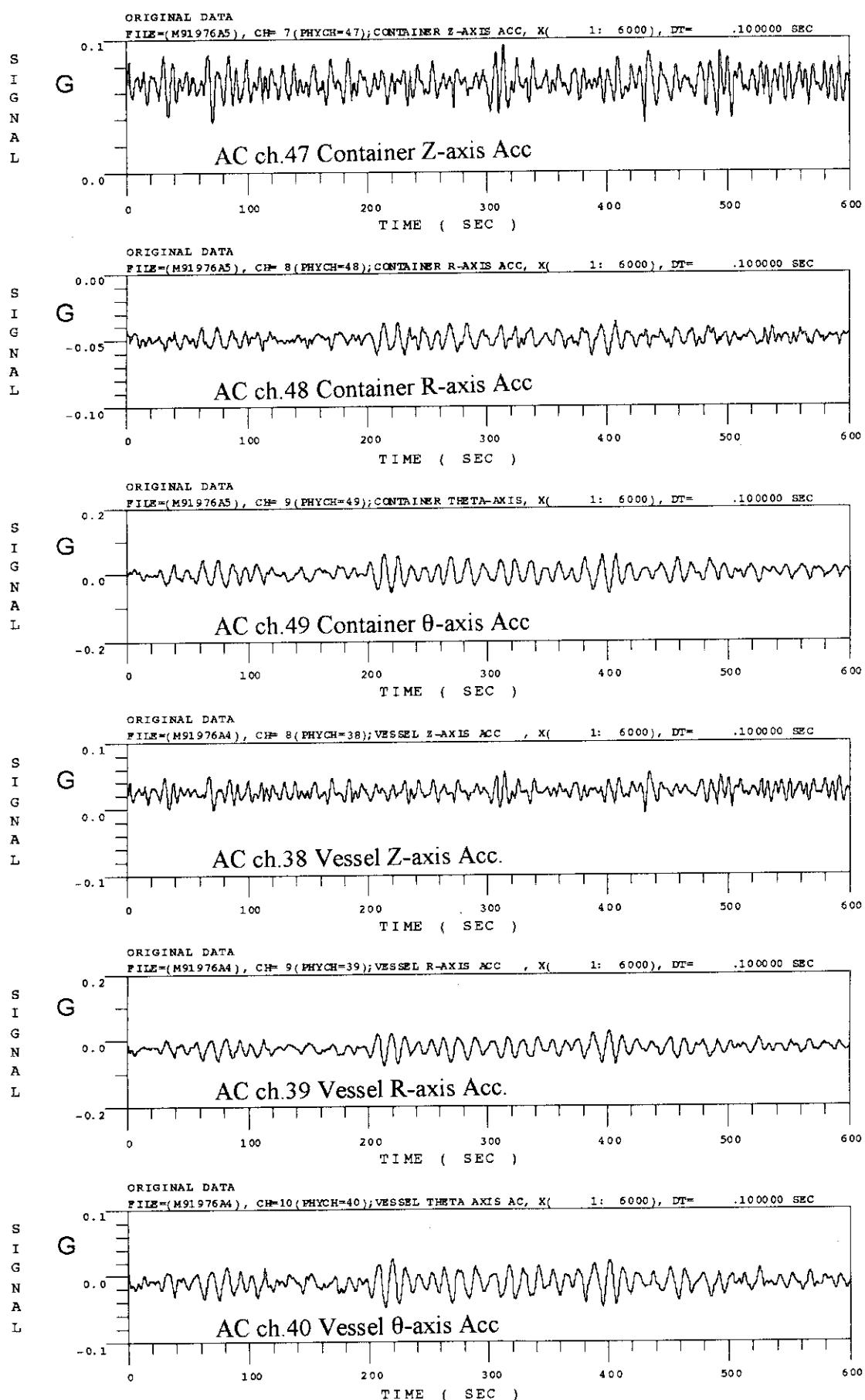


Fig.5.6(k) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その11)

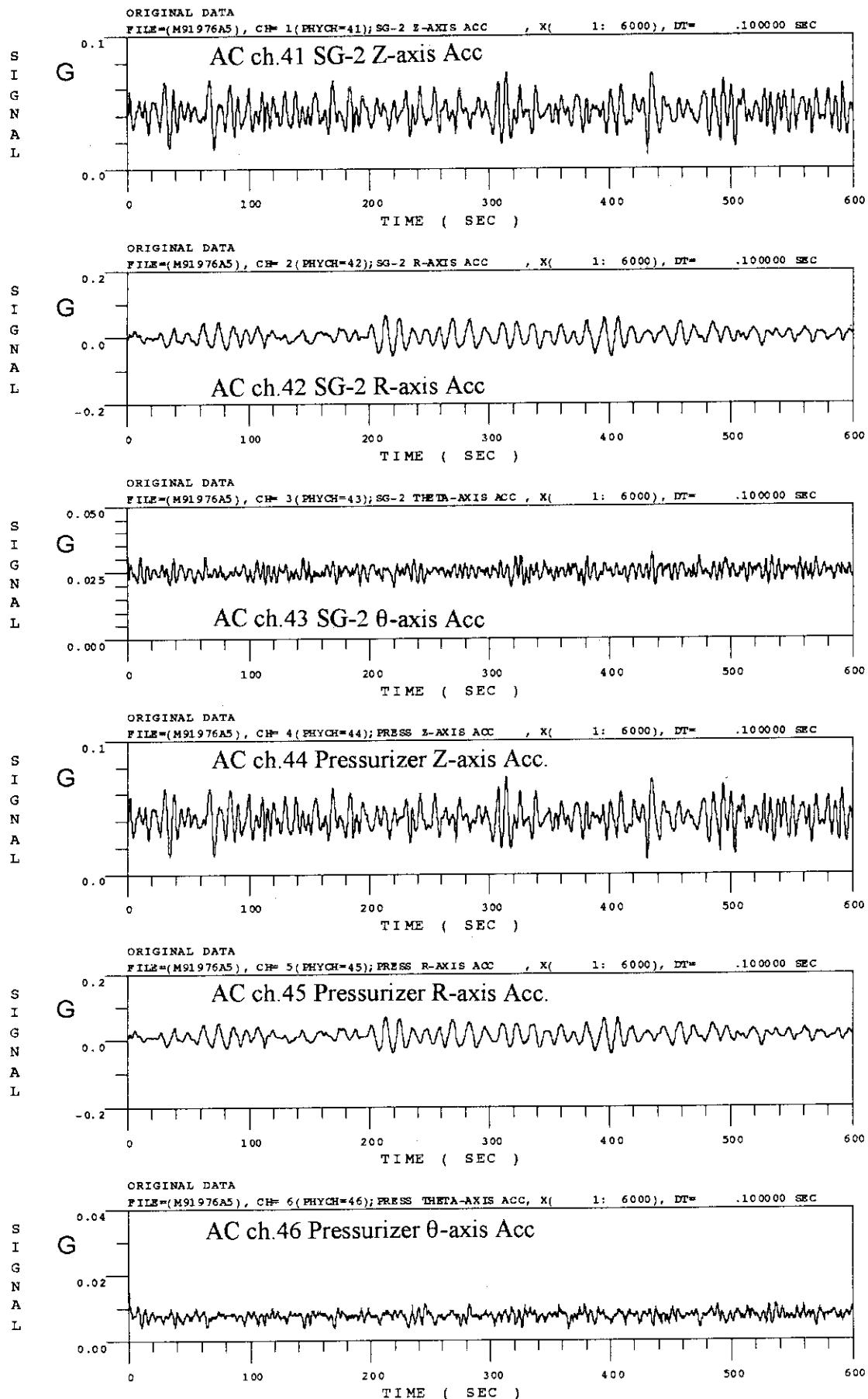


Fig.5.6(l) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル；その12)

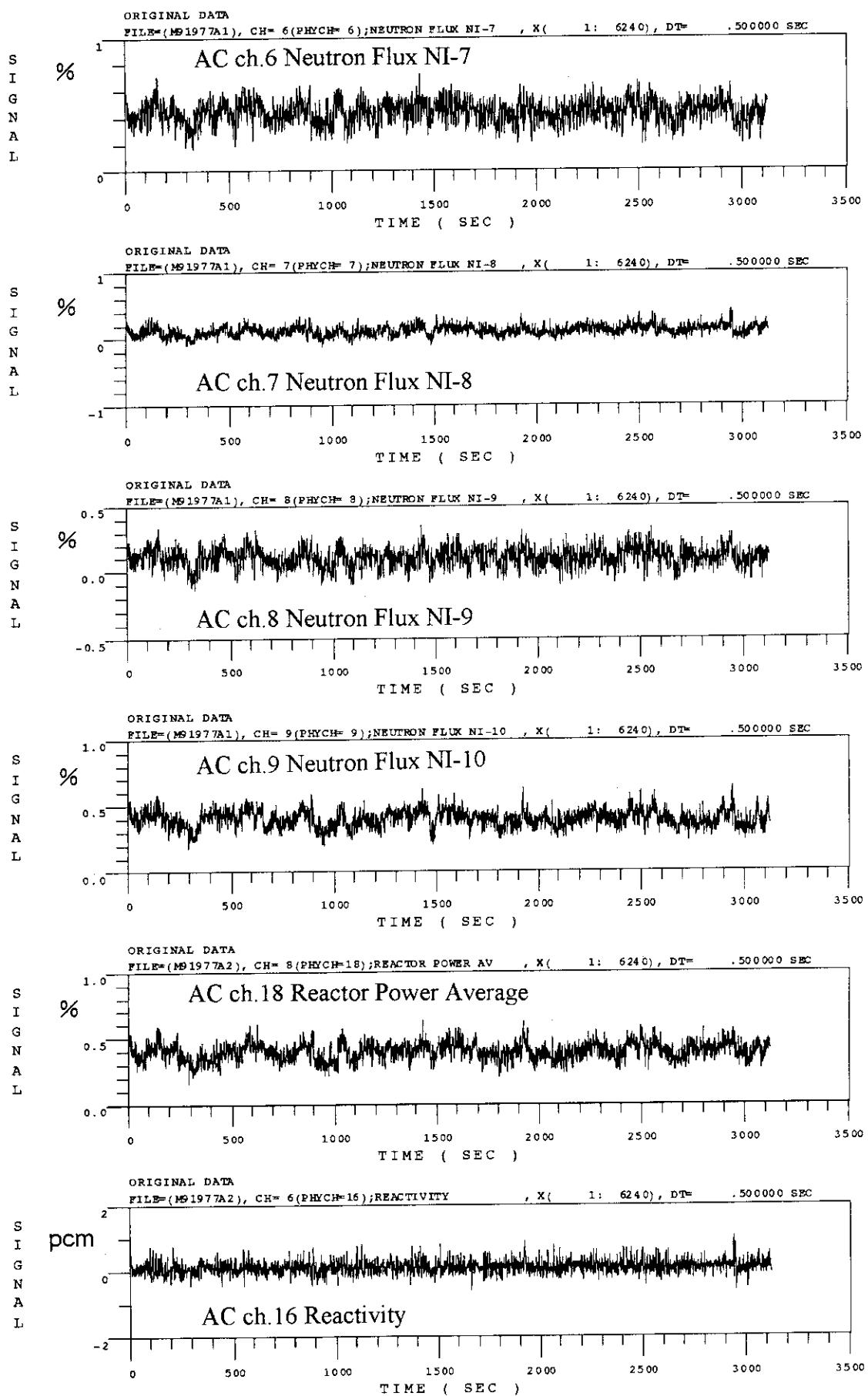


Fig.5.7(a) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル; その1)

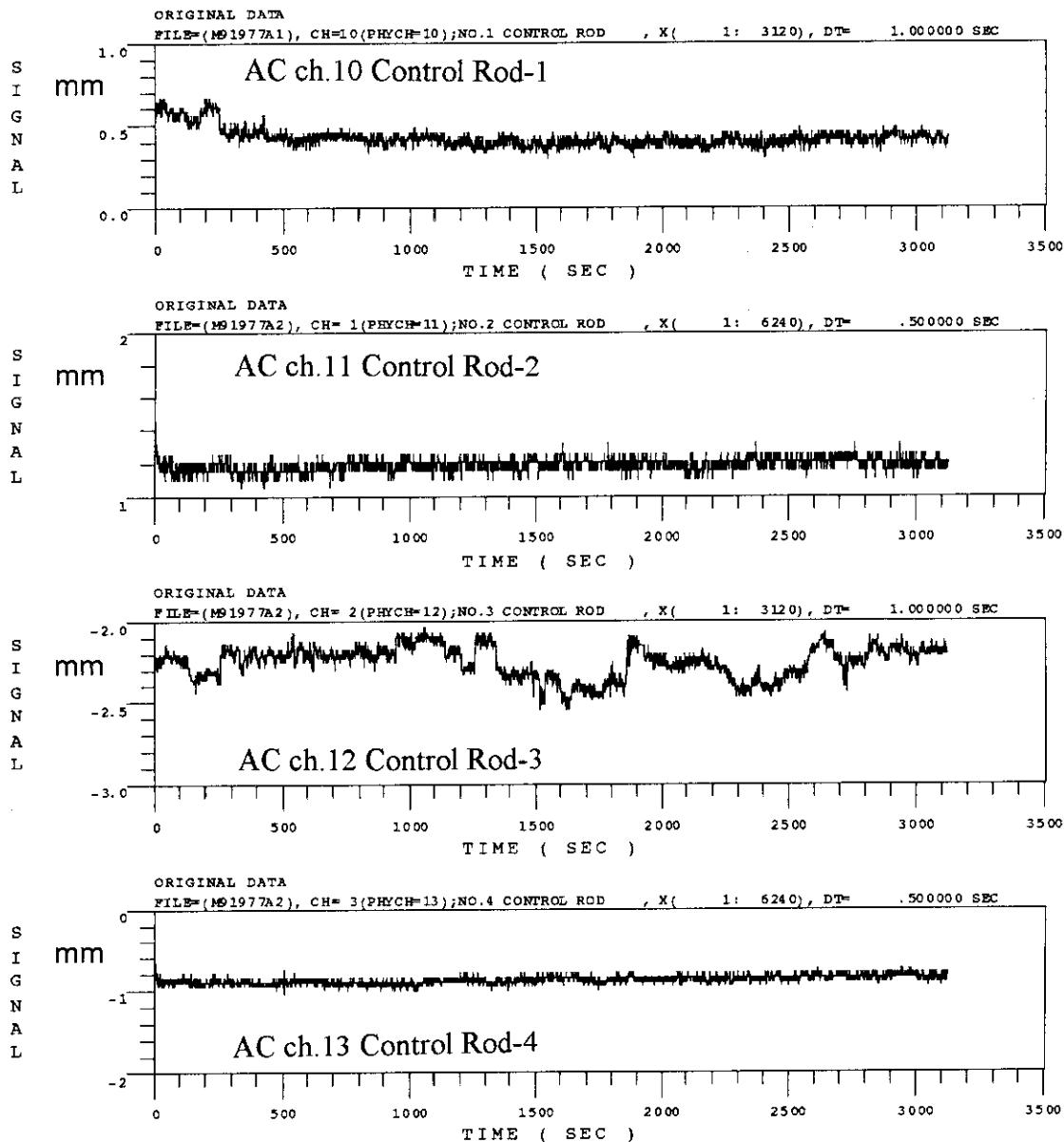


Fig.5.7(b) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル; その2)

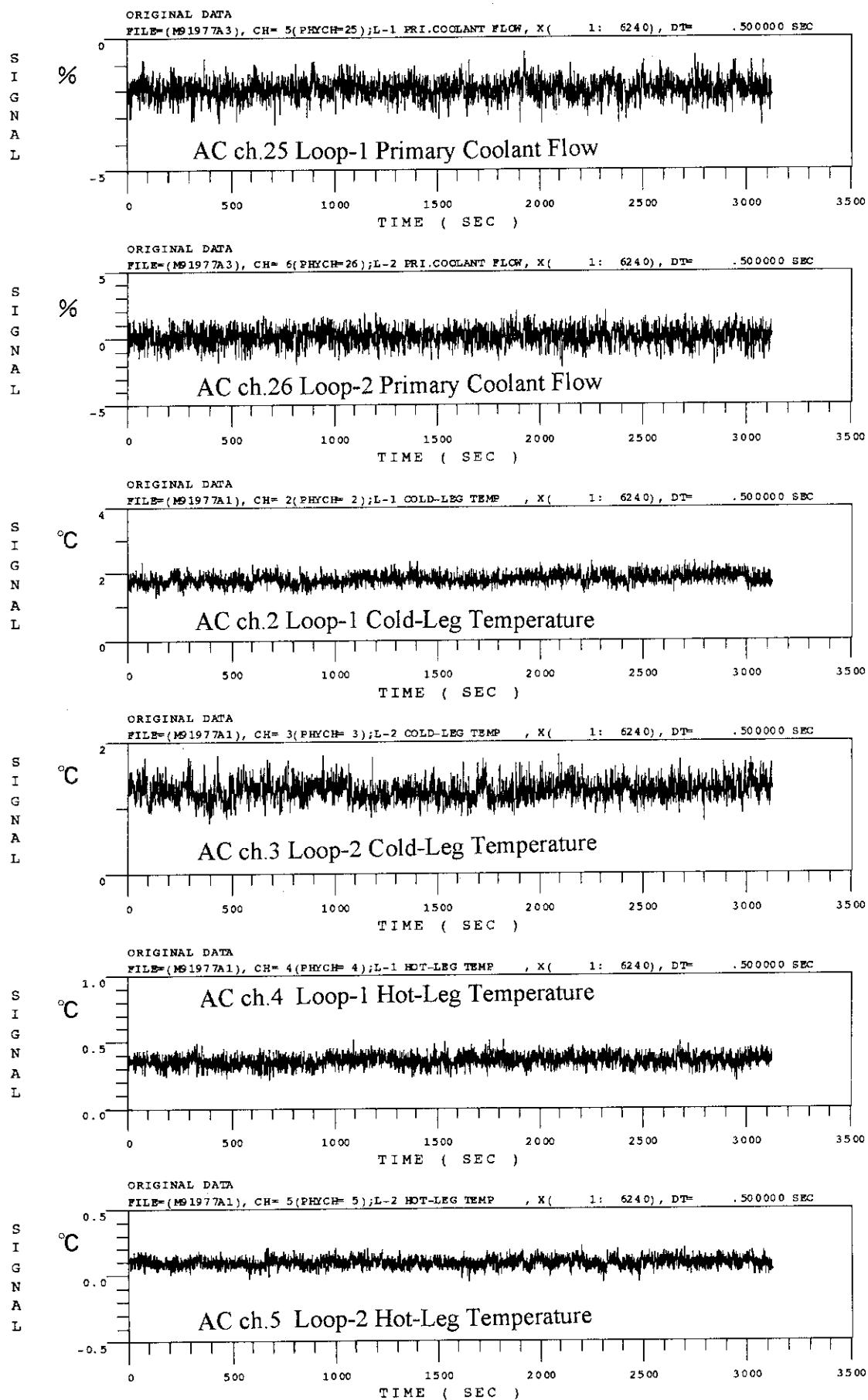


Fig.5.7(c) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル; その3)

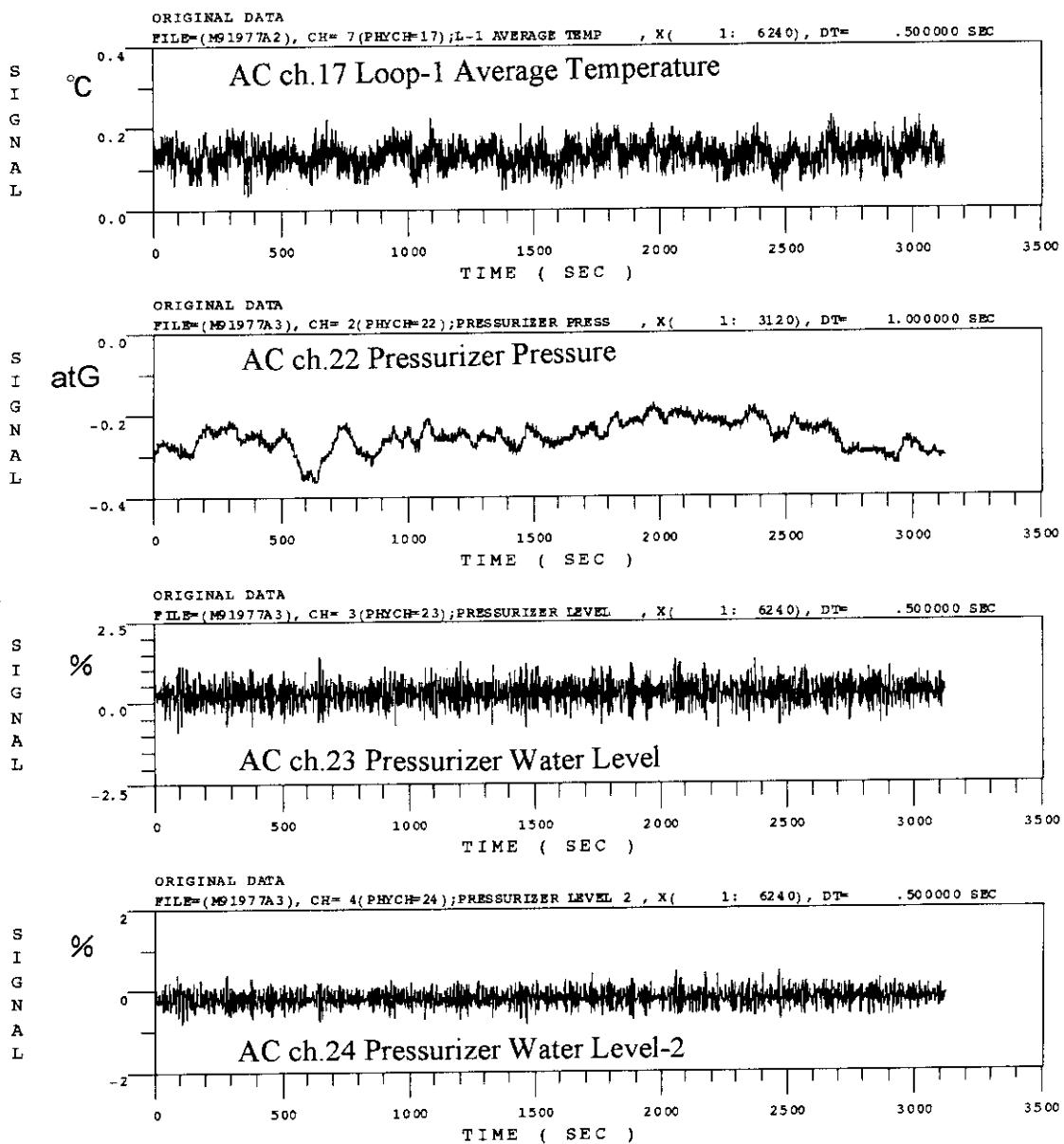


Fig.5.7(d) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル；その4)

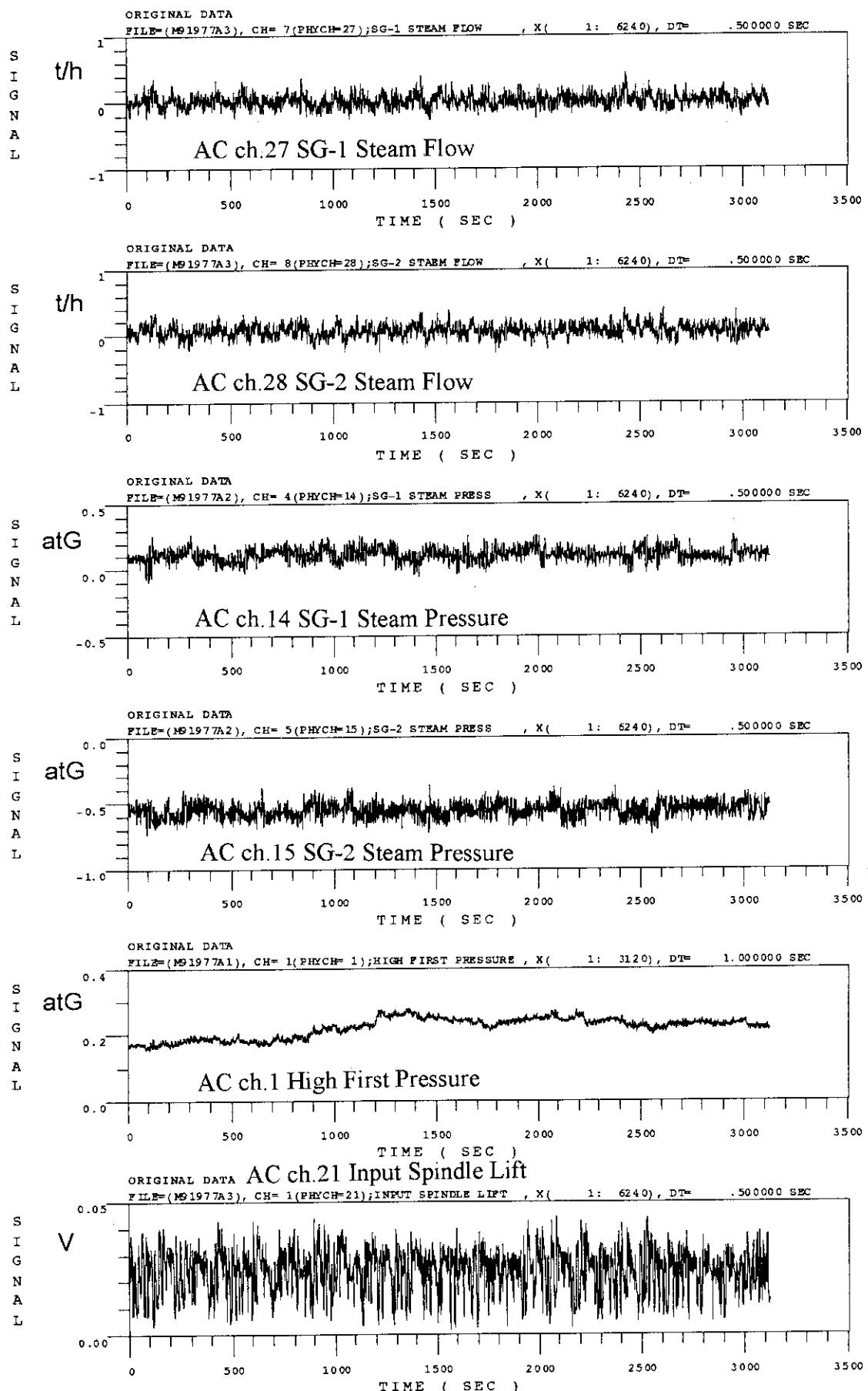


Fig.5.7(e) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル；その5)

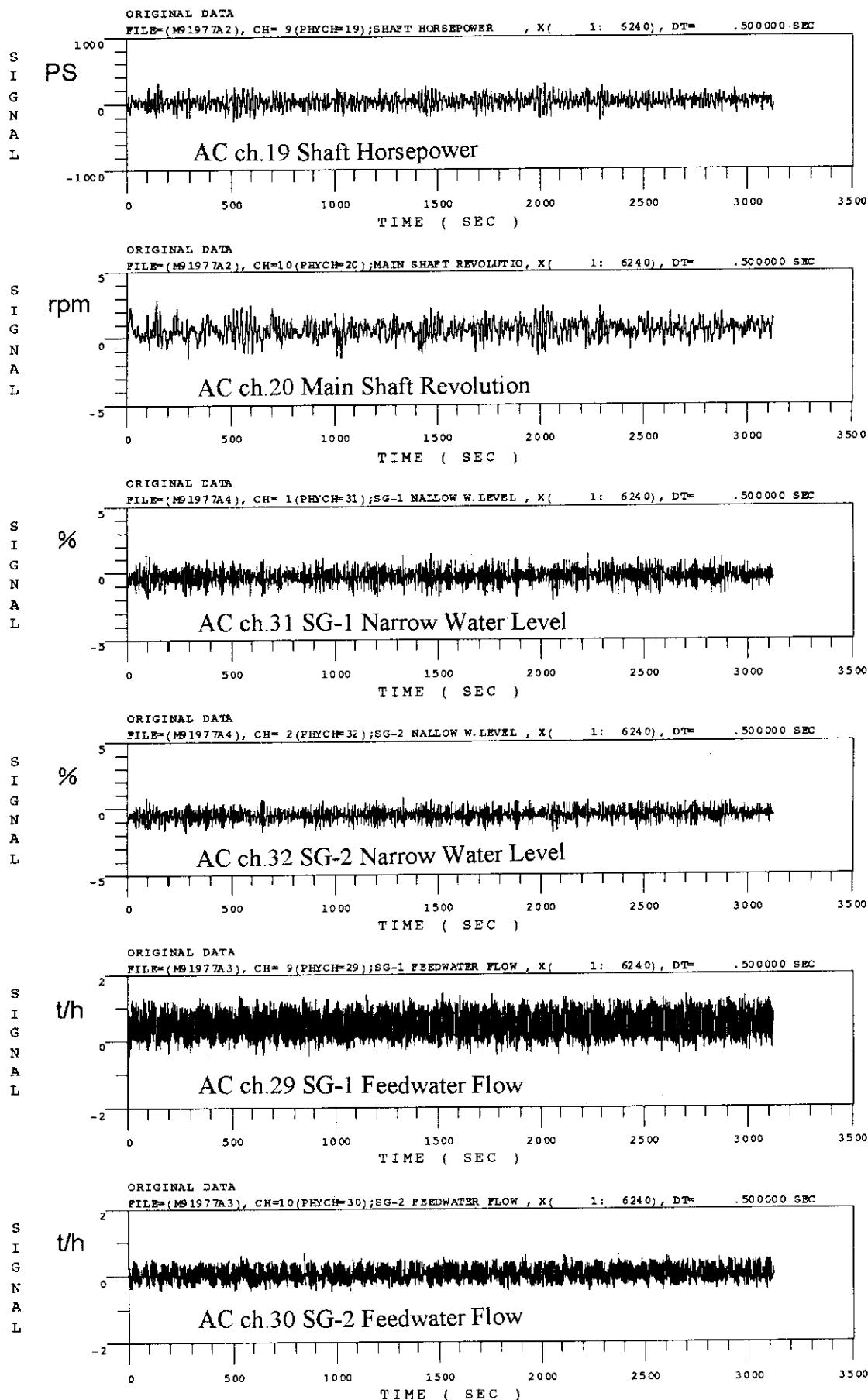


Fig.5.7(f) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル; その6)

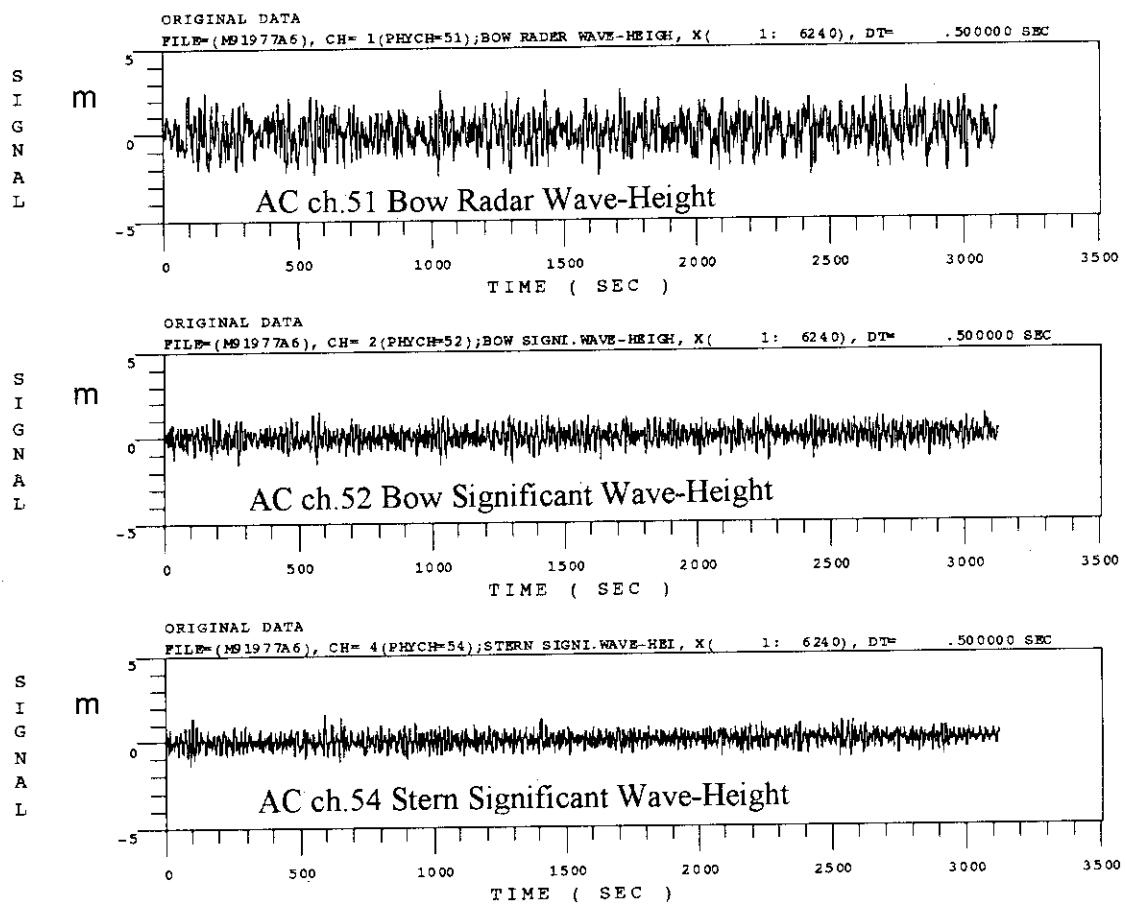


Fig.5.7(g) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル; その7)

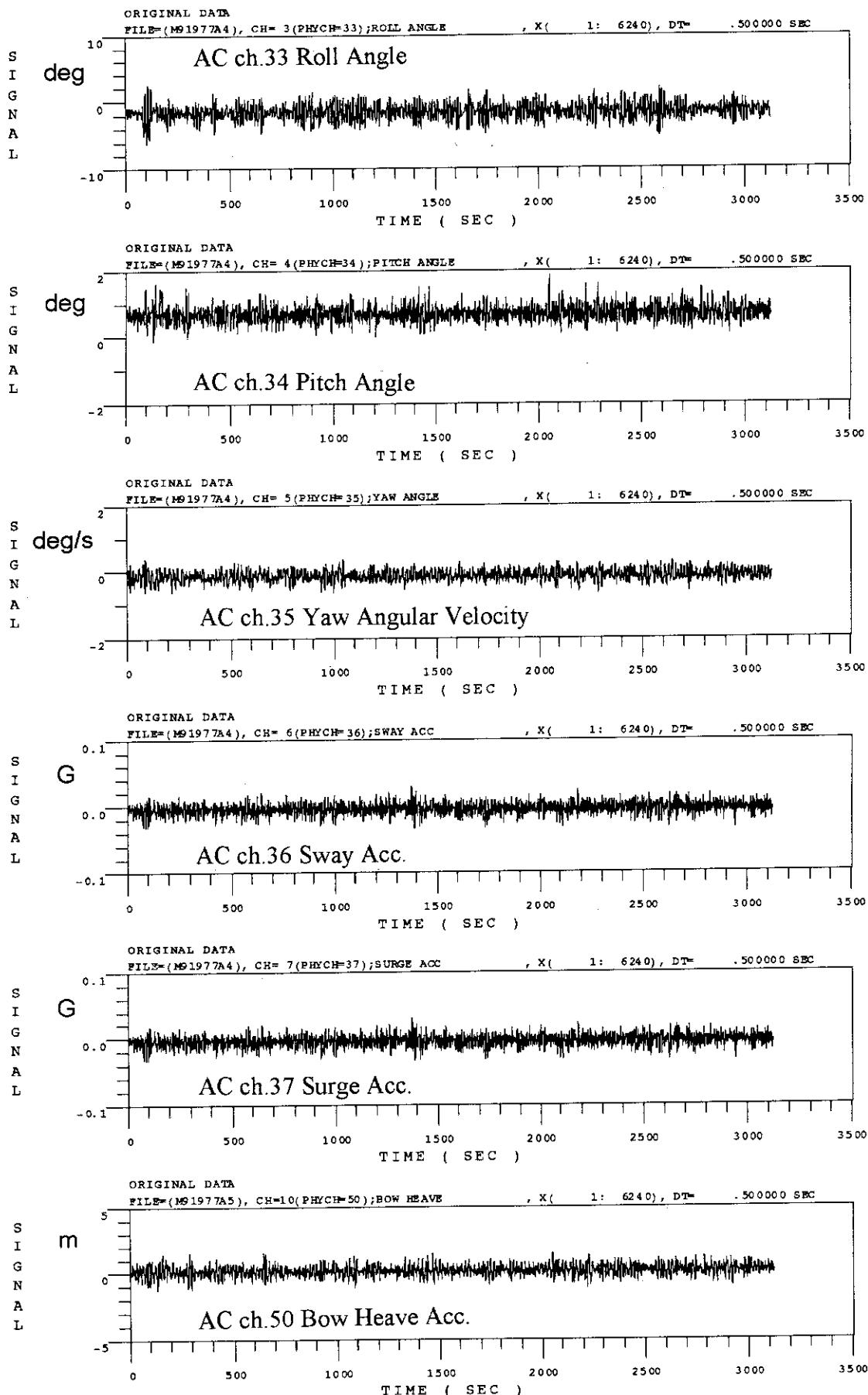


Fig.5.7(h) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル;その8)

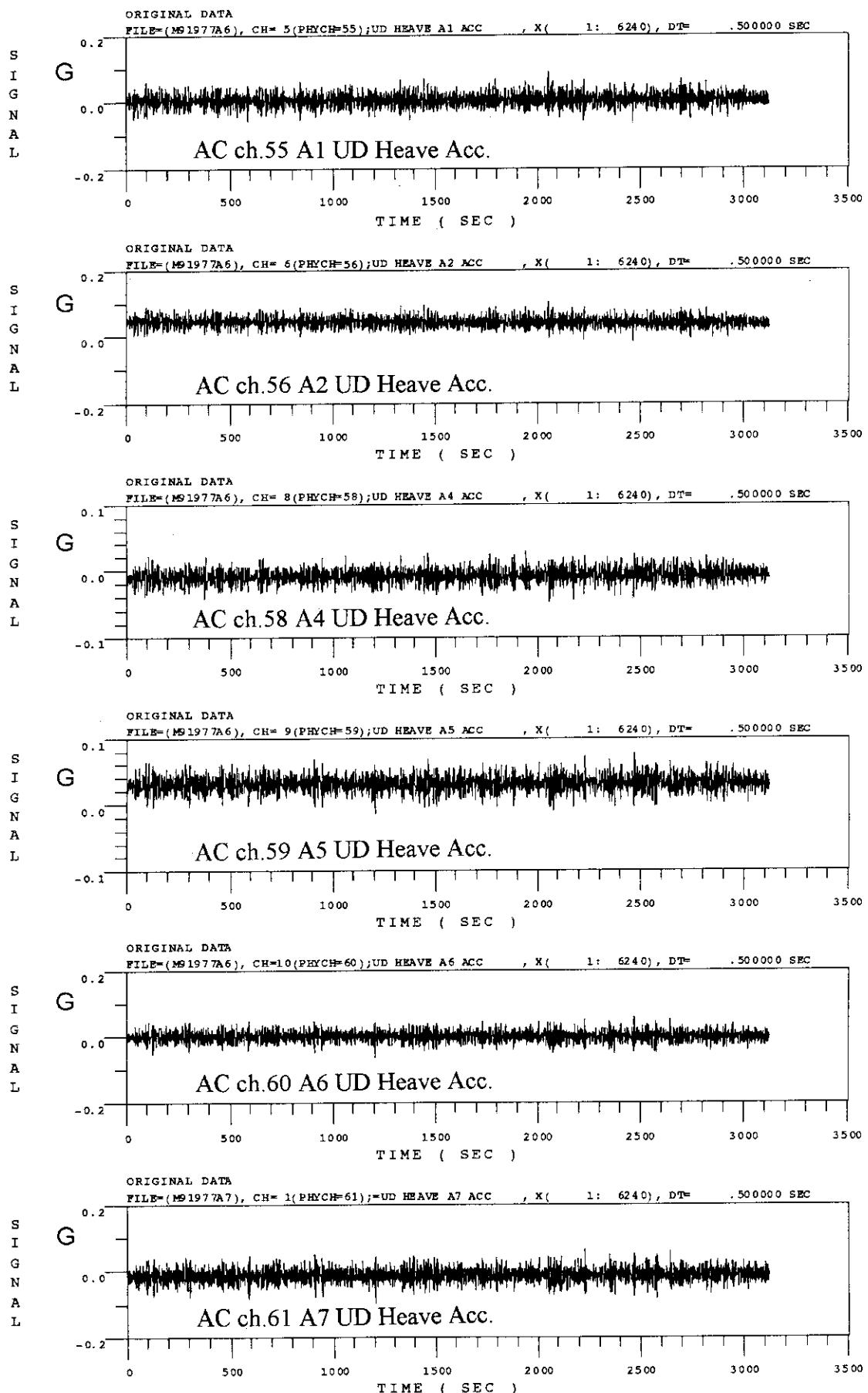


Fig.5.7(i) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル；その9)

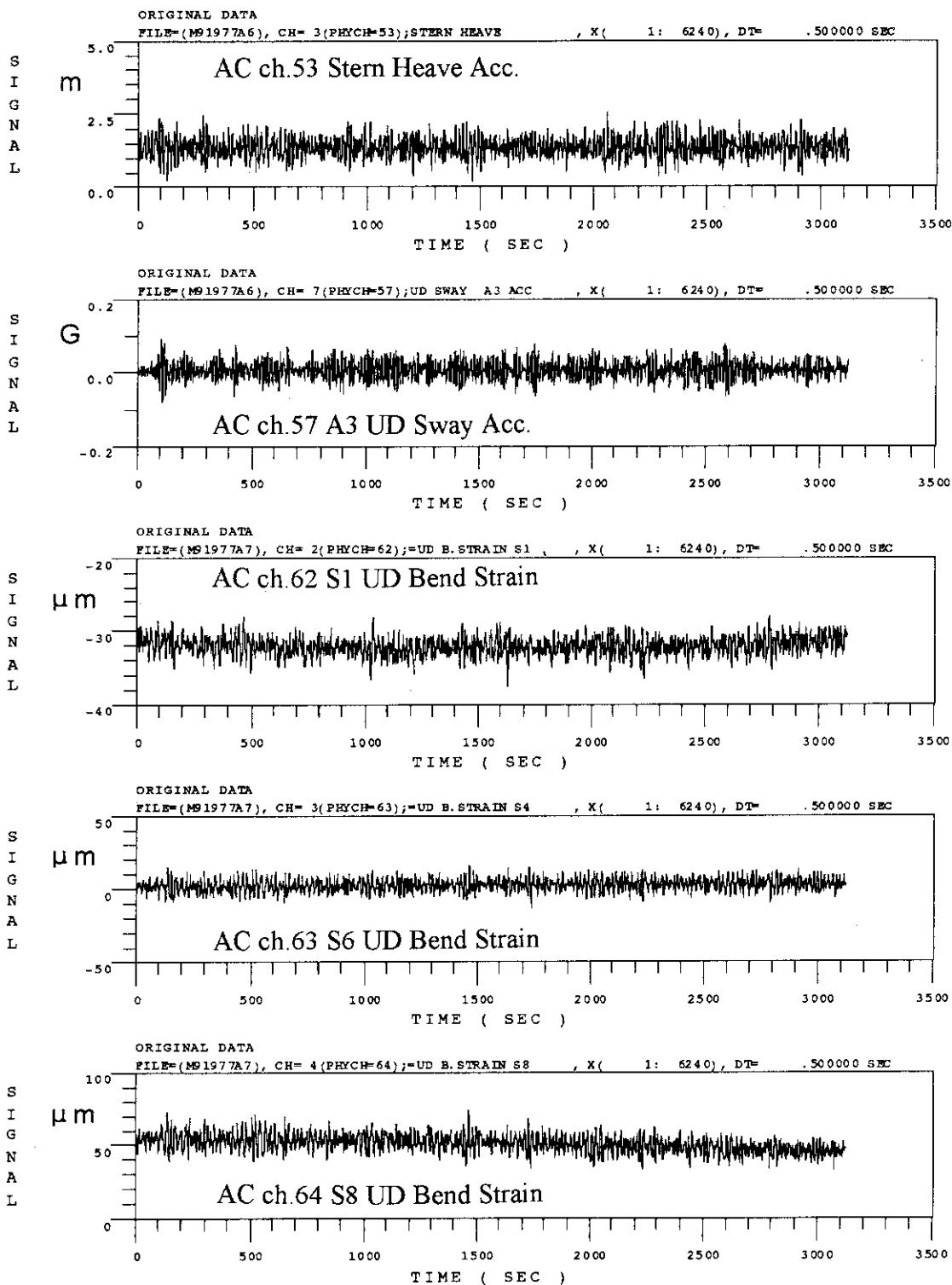


Fig.5.7(j) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル; その10)

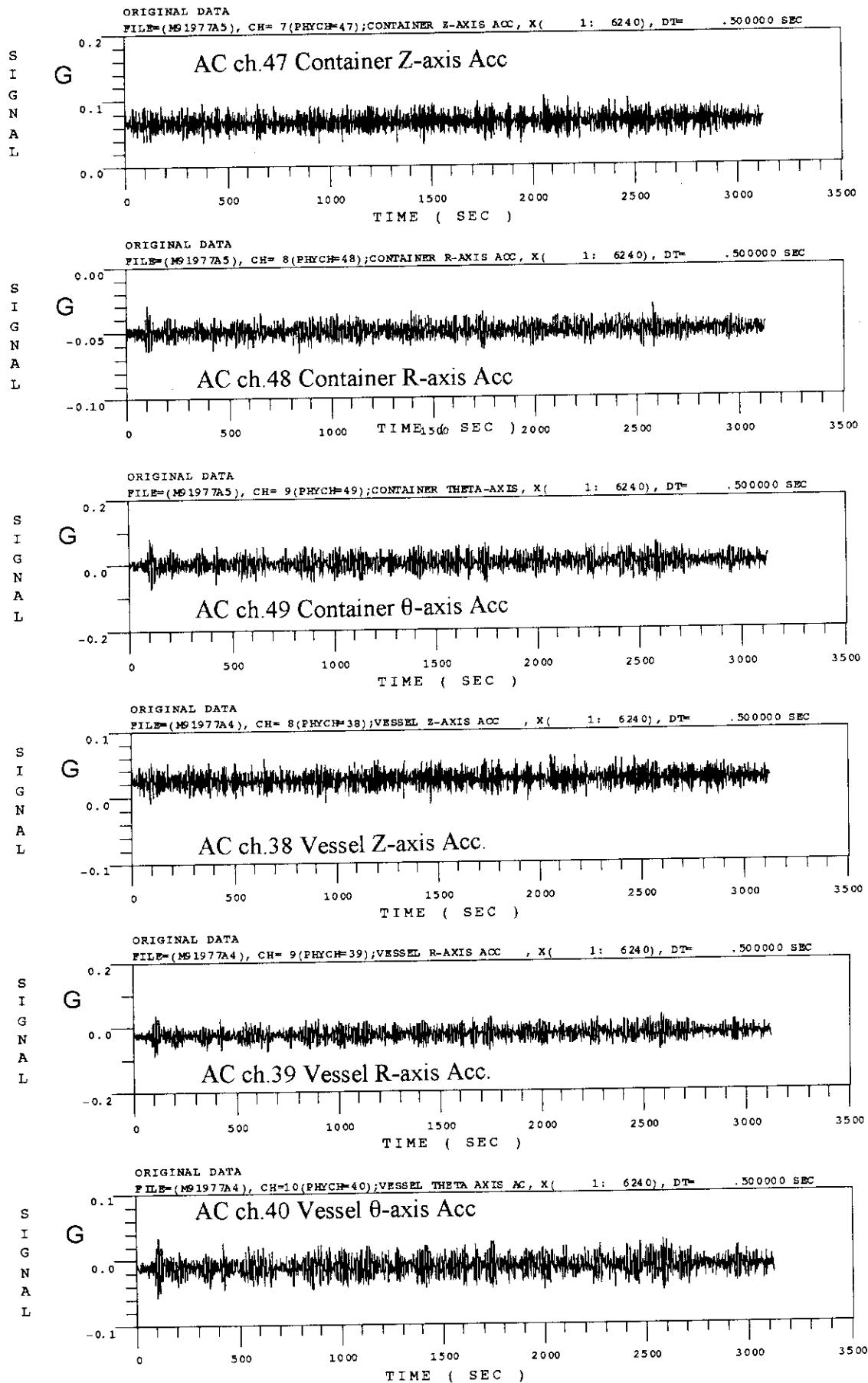


Fig.5.7(k) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル；その11)

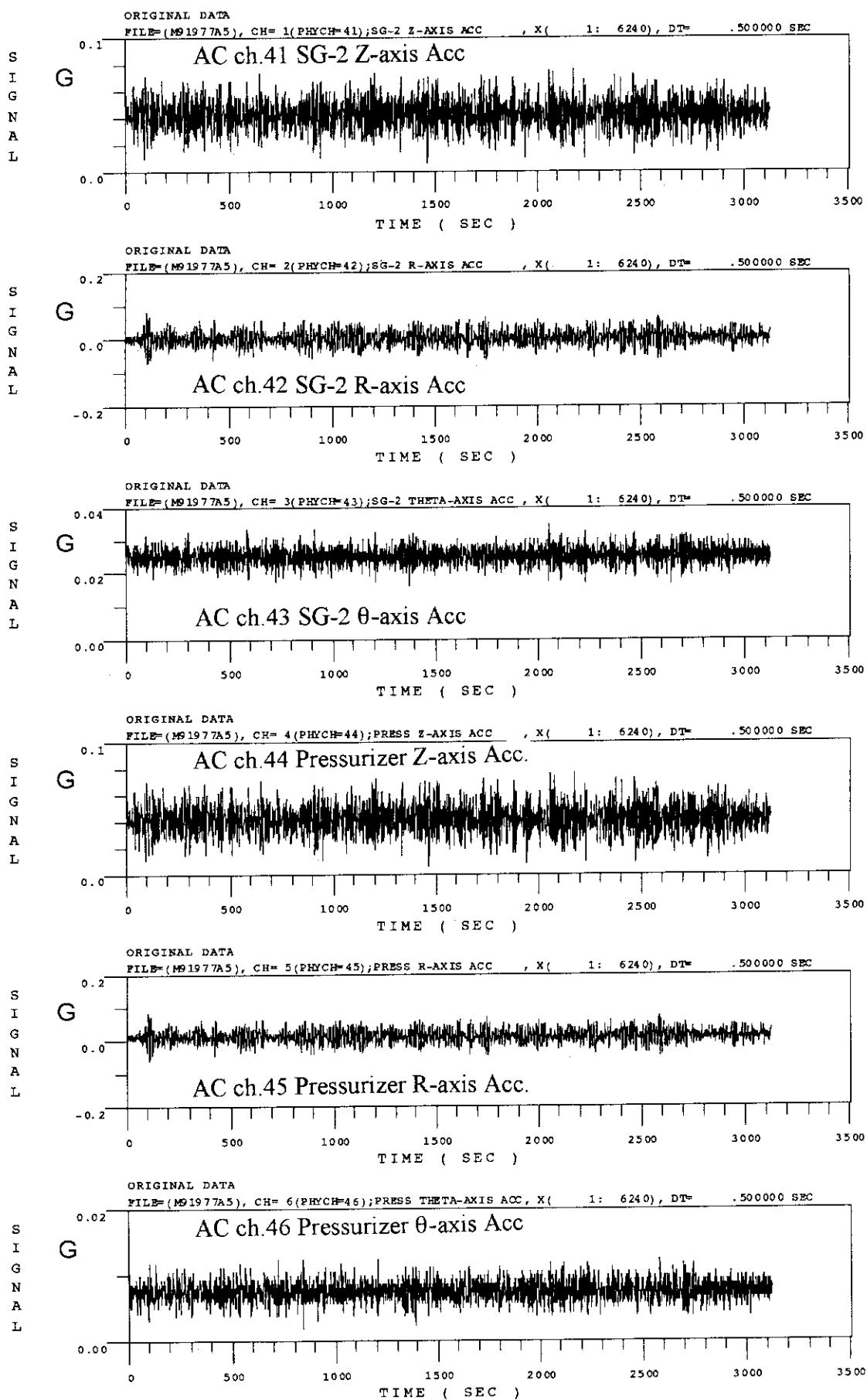


Fig.5.7(l) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(低速サンプル; その12)

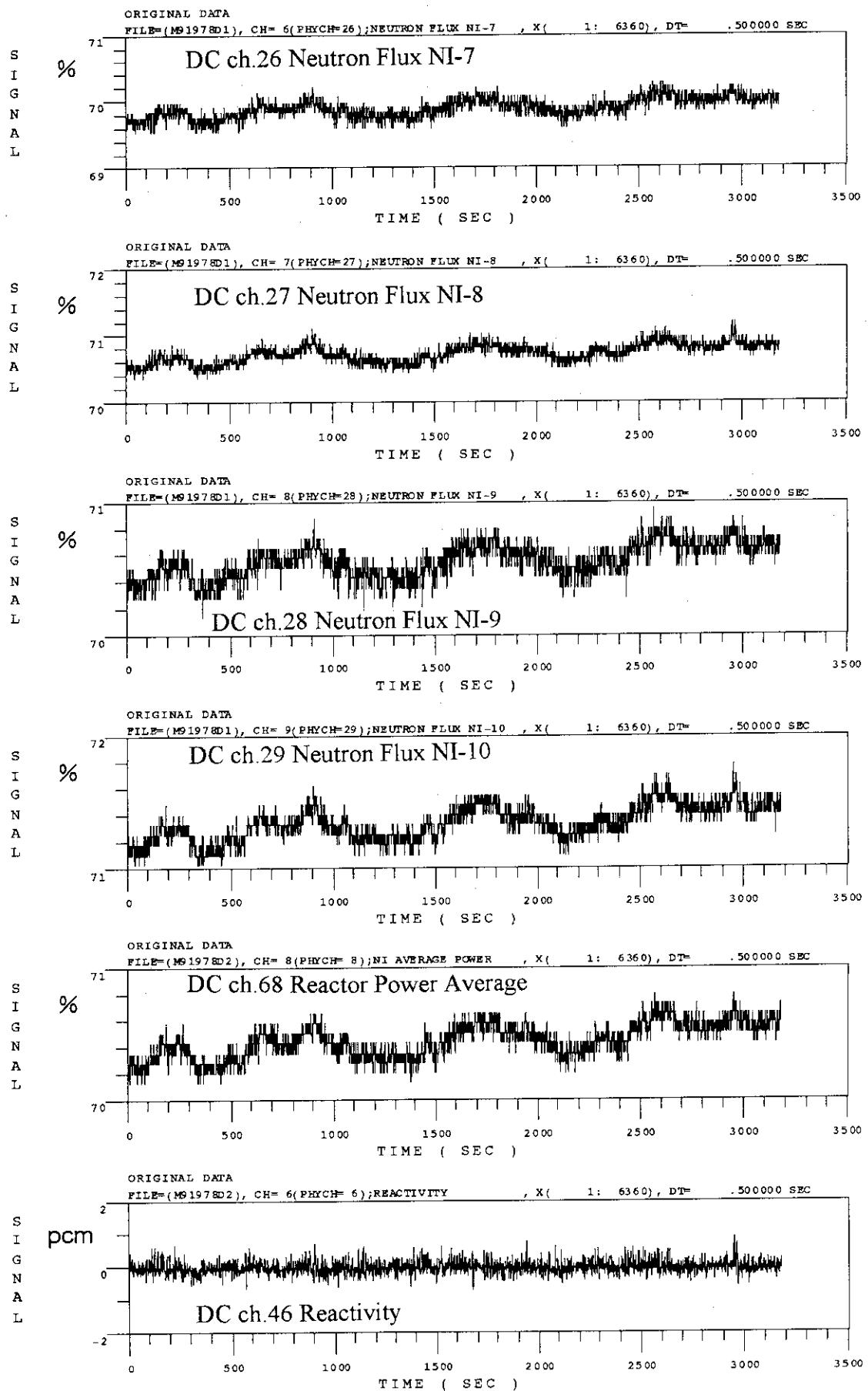


Fig.5.8(a) 第3回自然雑音測定実験のDC信号(低速サンプル; その1)

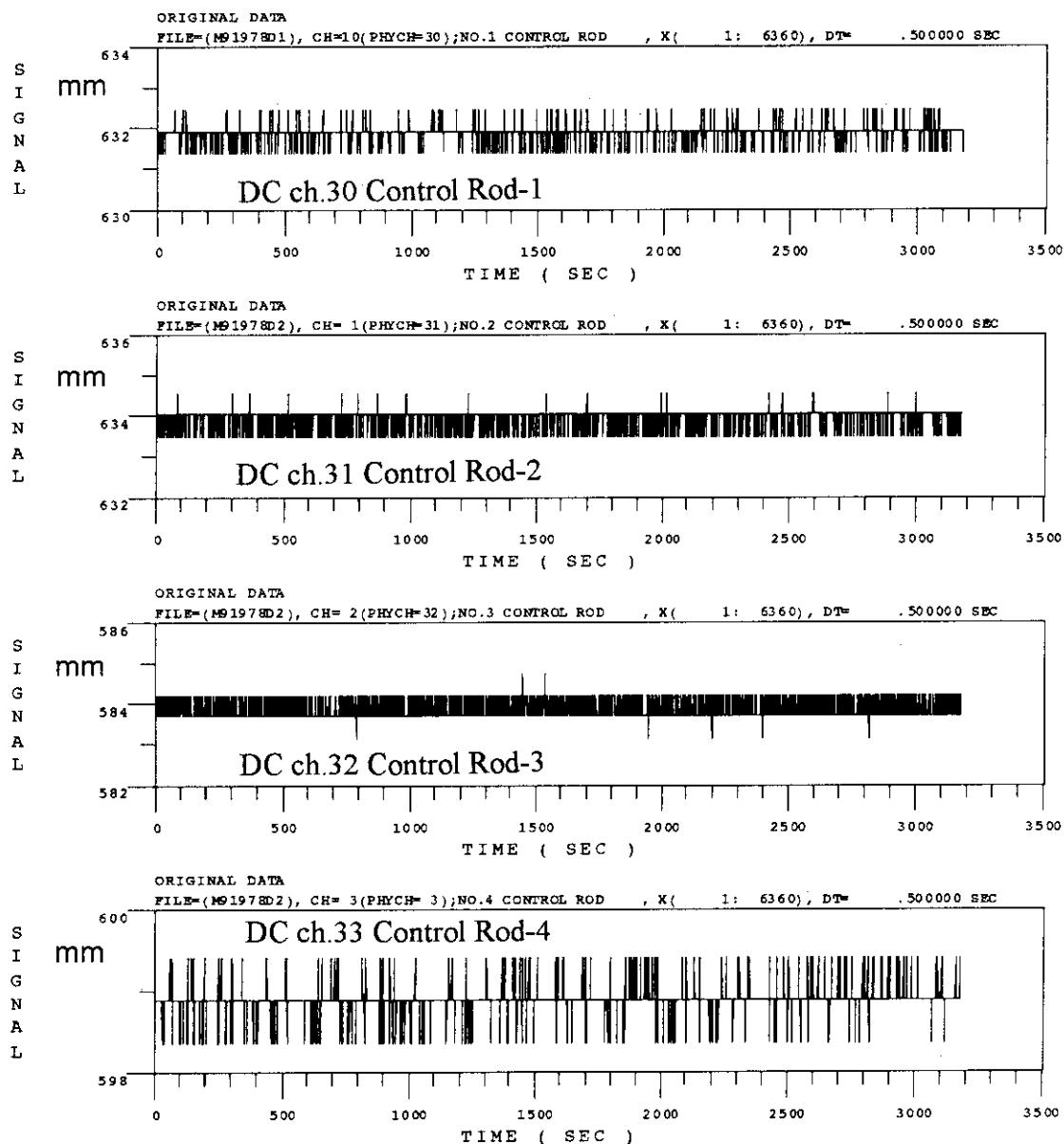


Fig.5.8(b) 第3回自然雑音測定実験のDC信号(低速サンプル;その2)

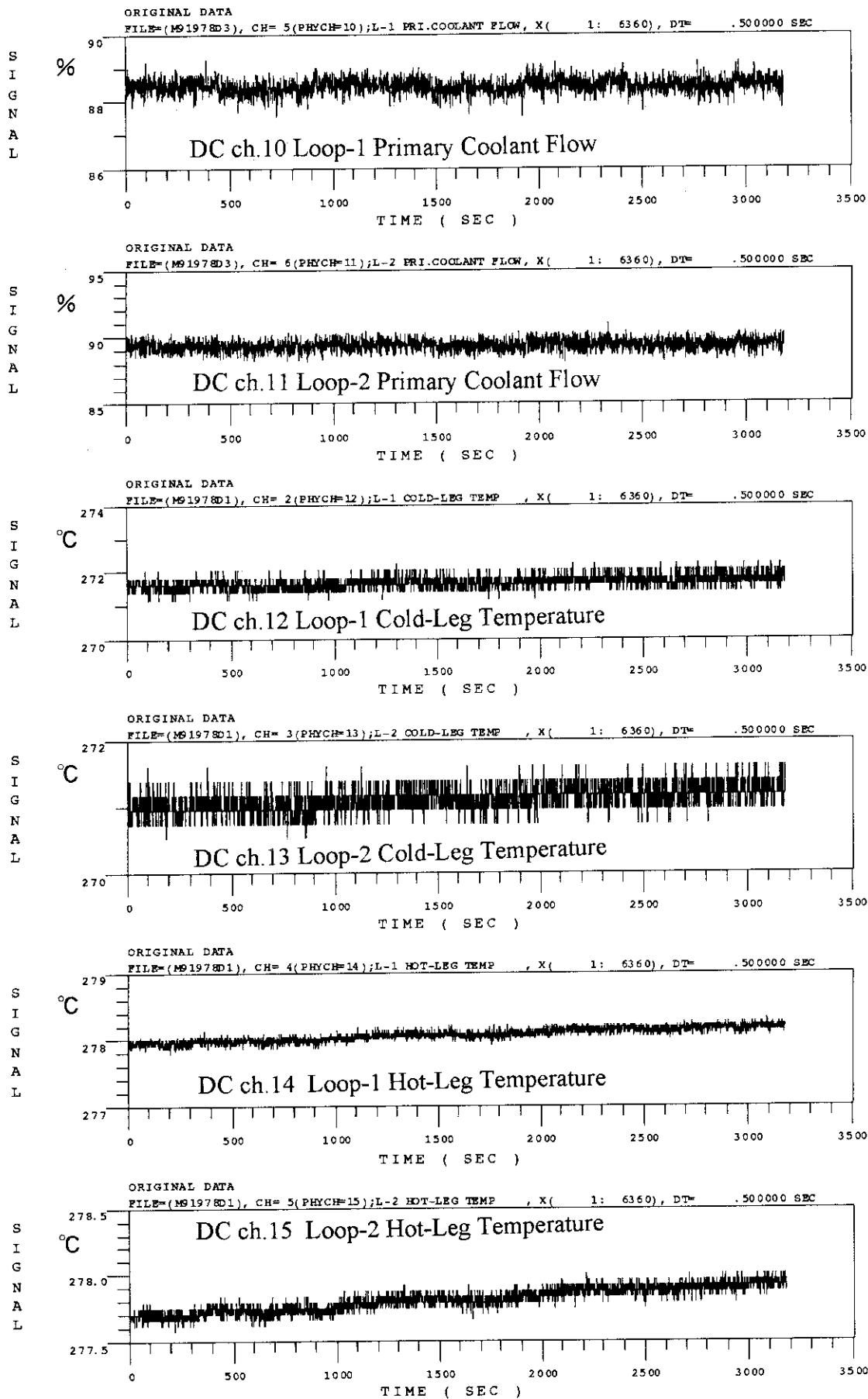


Fig.5.8(c) 第3回自然雑音測定実験のDC信号(低速サンプル;その3)

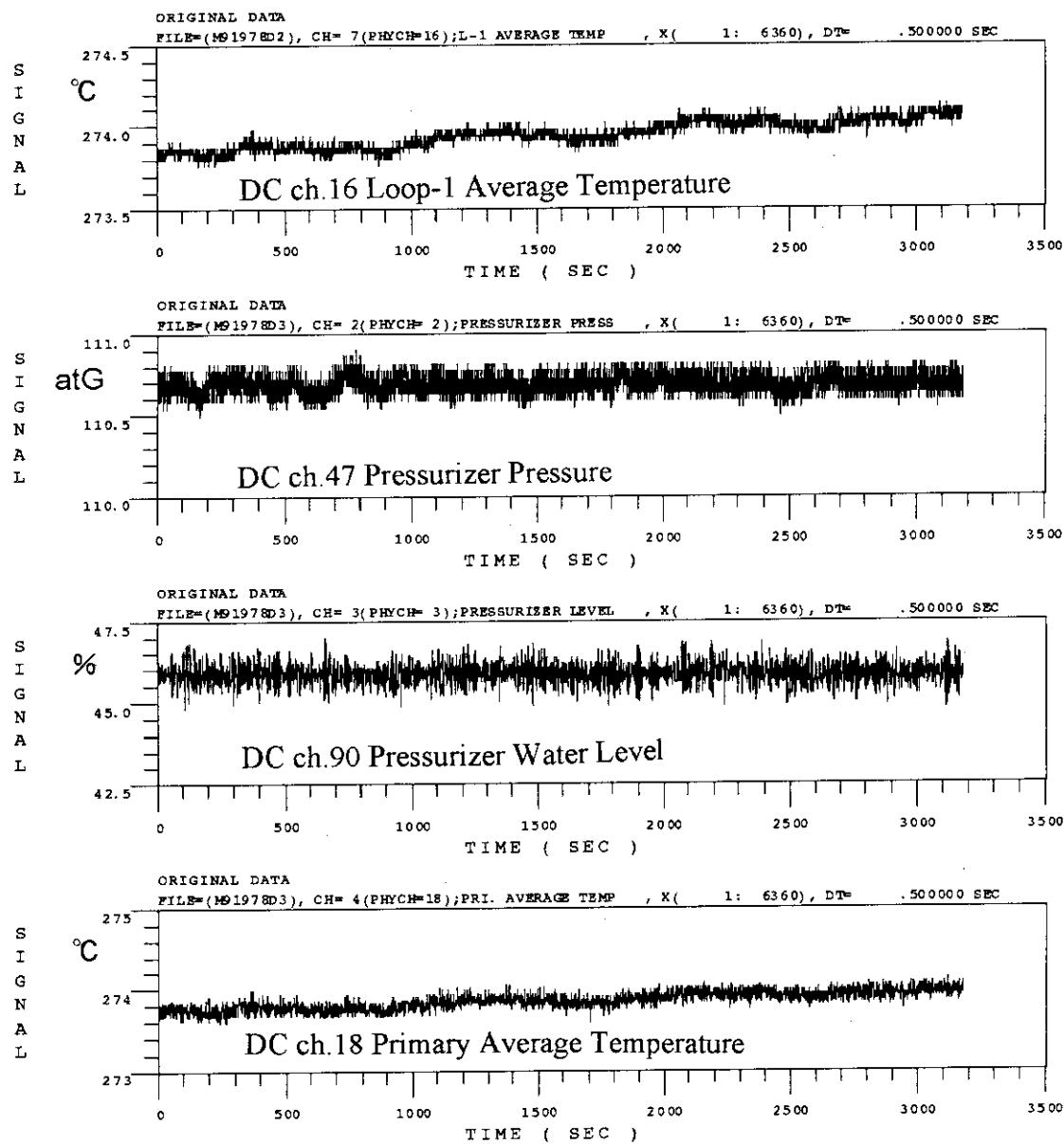


Fig.5.8(d) 第3回自然雑音測定実験のDC信号(低速サンプル; その4)

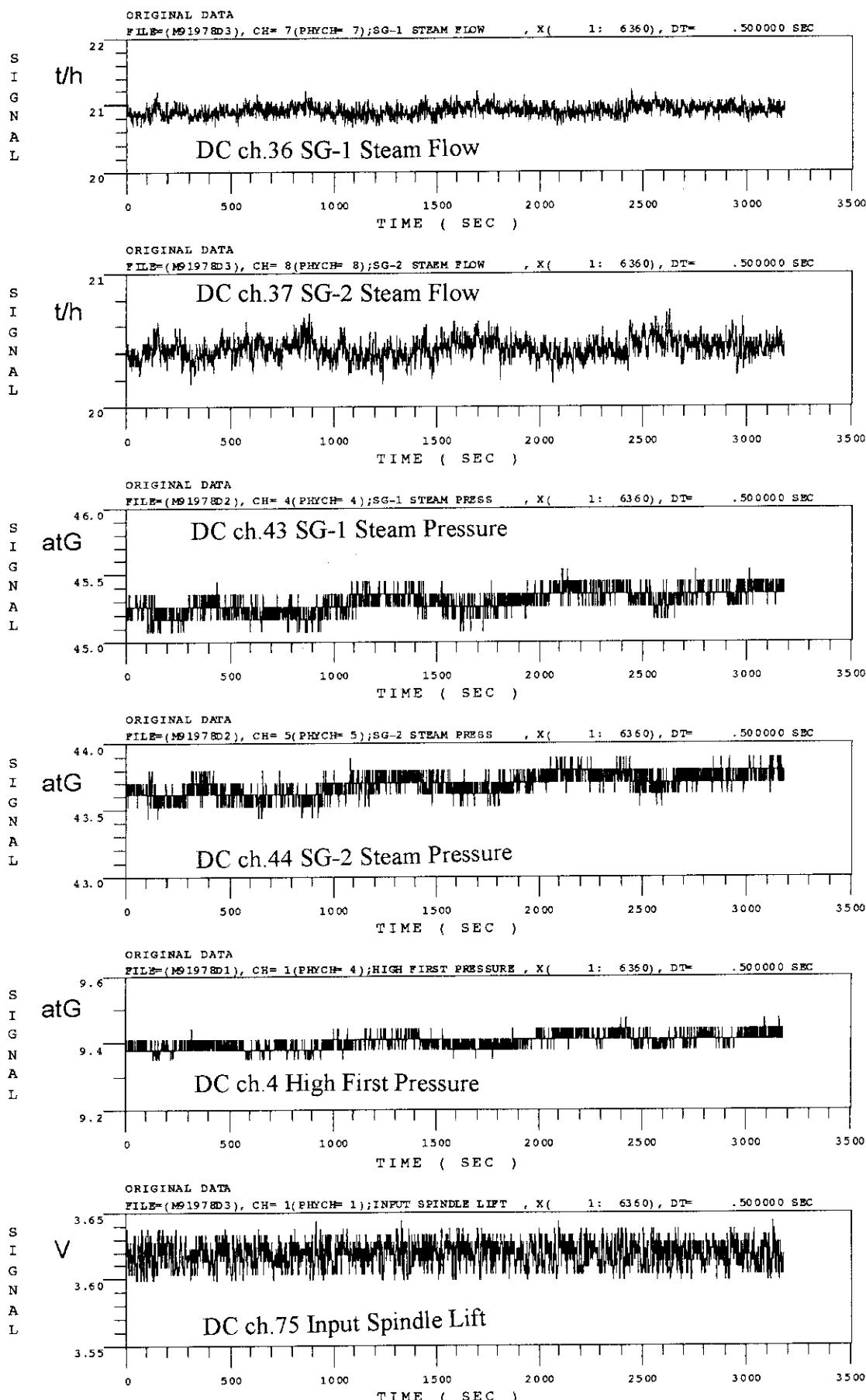


Fig.5.8(e) 第3回自然雑音測定実験のDC信号(低速サンプル;その5)

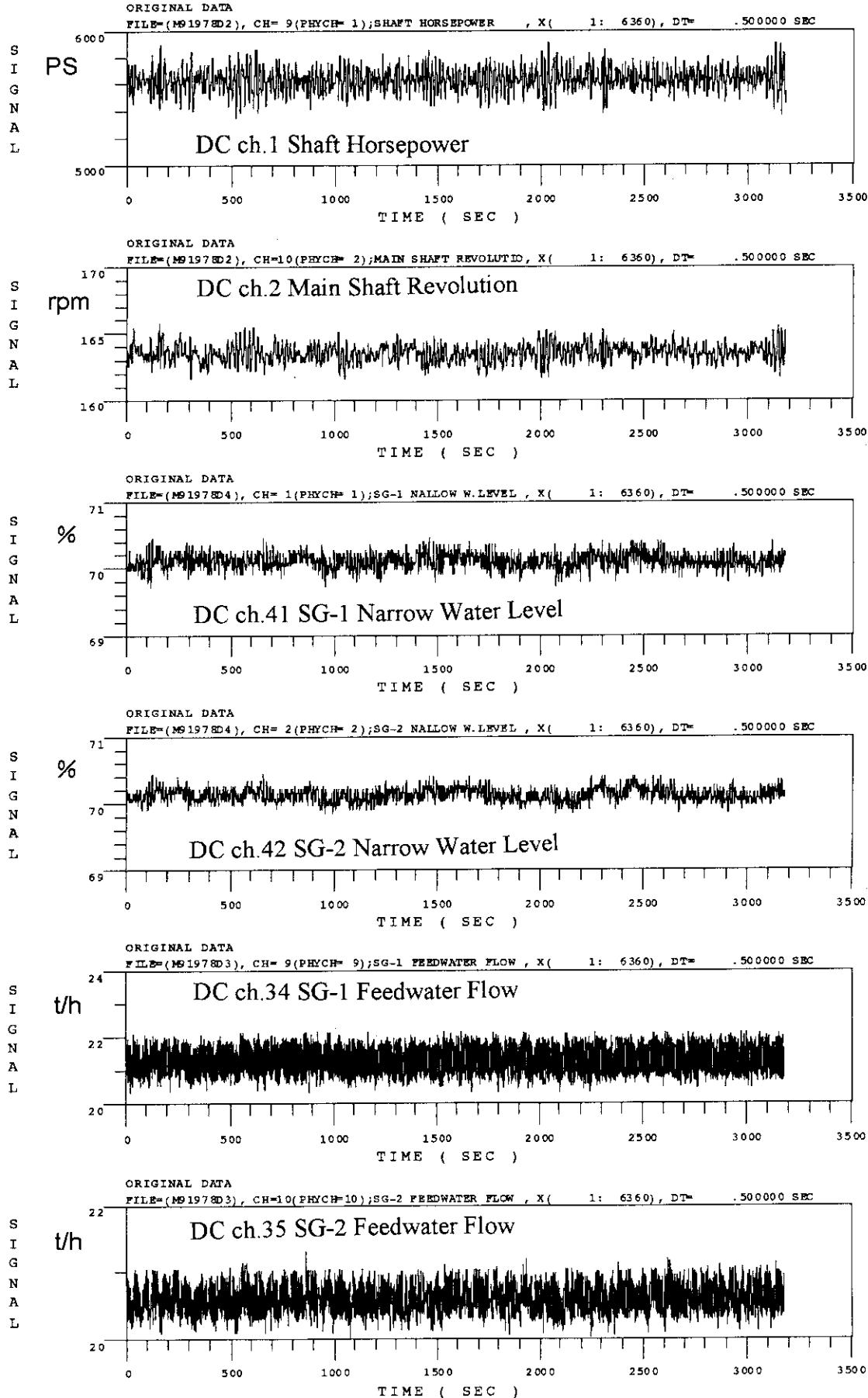


Fig.5.8(f) 第3回自然雑音測定実験のDC信号(低速サンプル;その6)

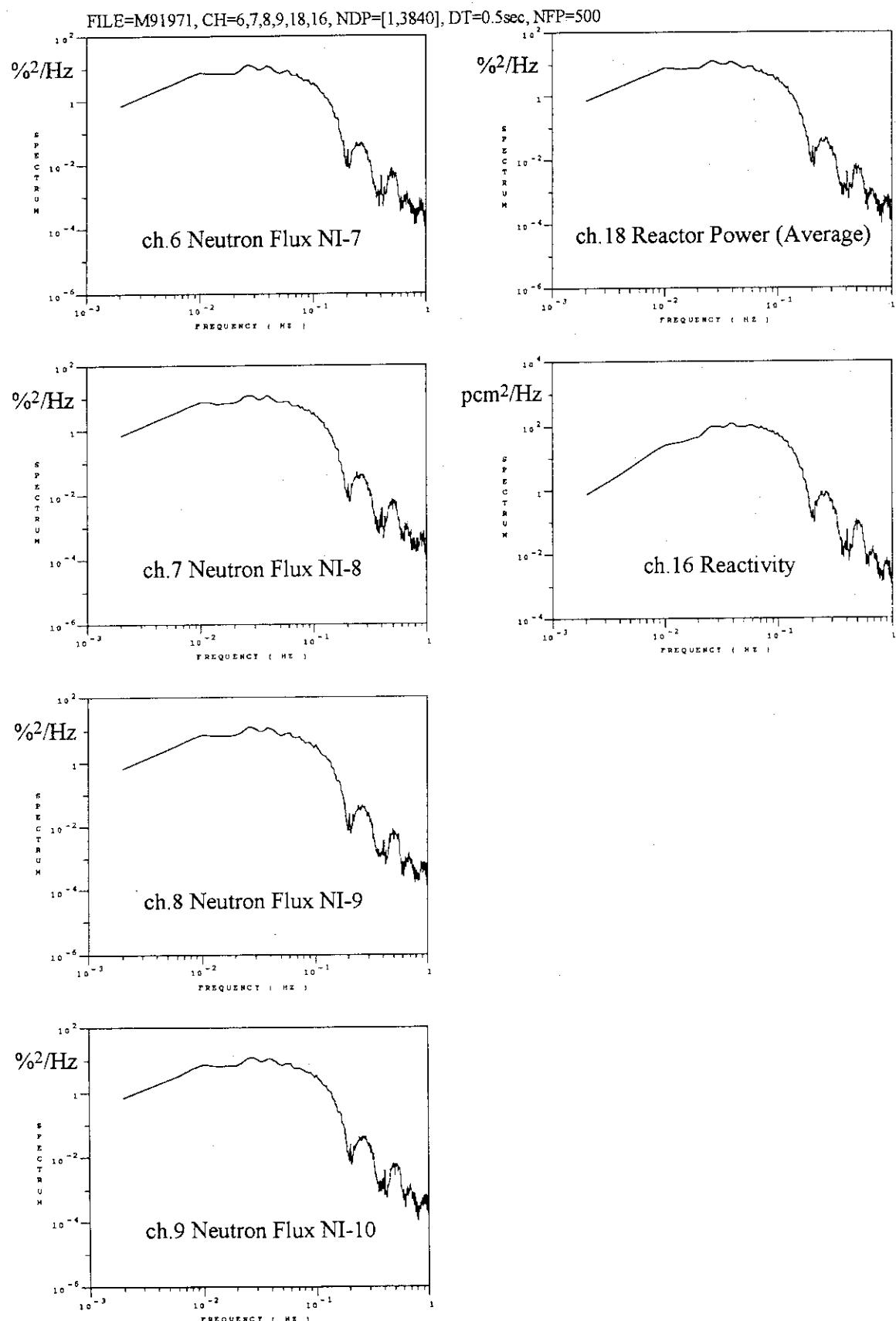


Fig.5.9(a) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その1)

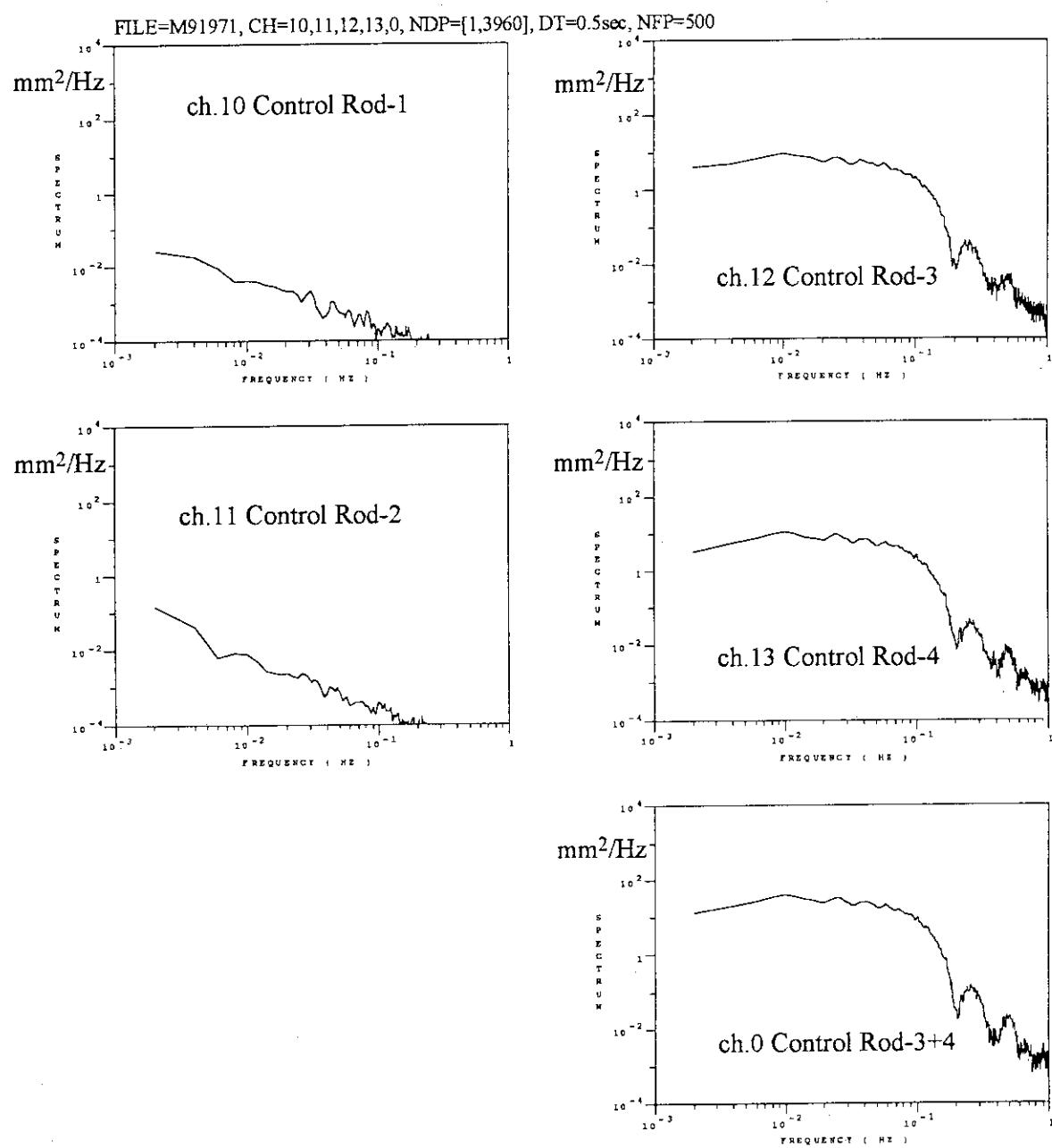


Fig.5.9(b) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その2)

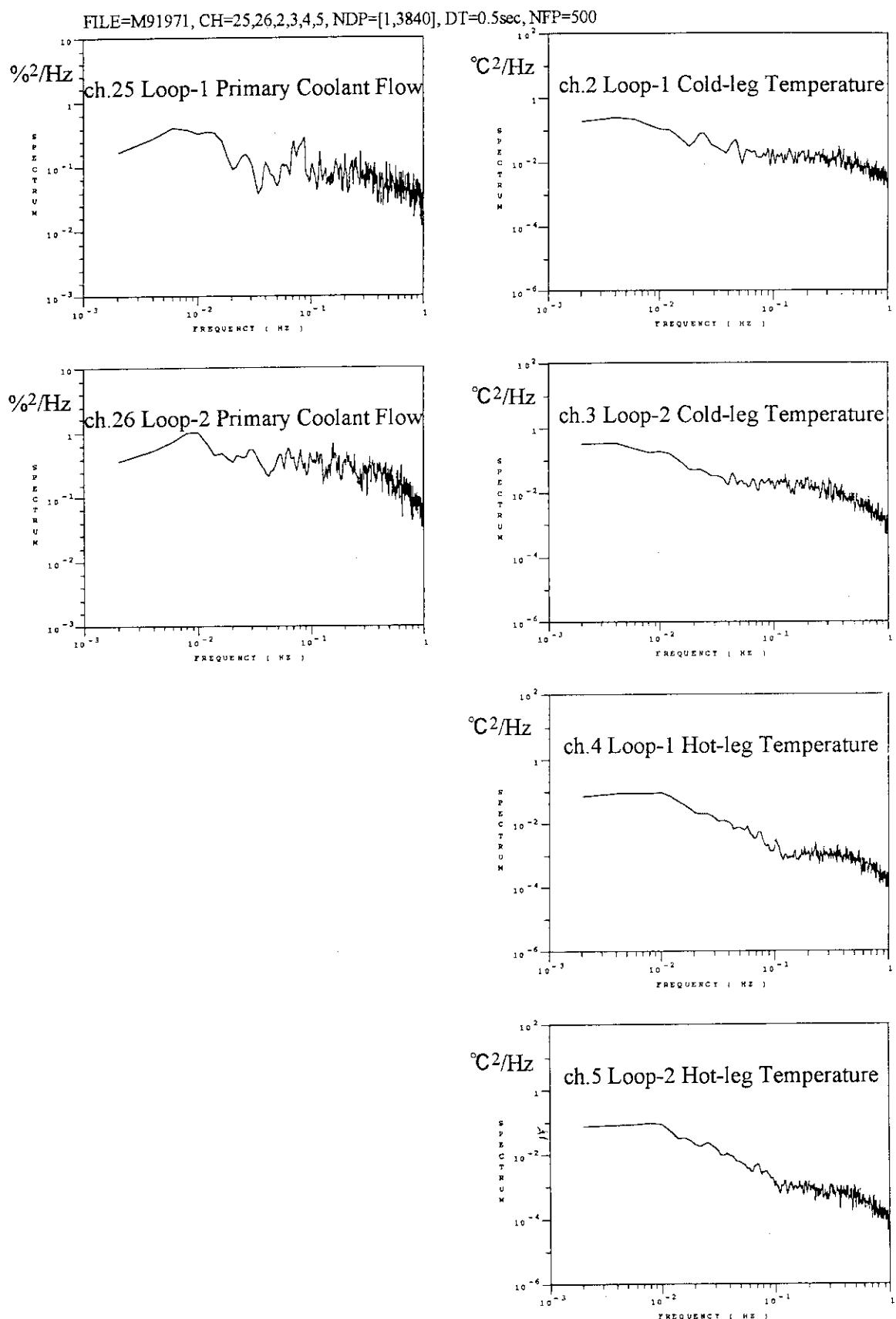


Fig.5.9(c) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その3)

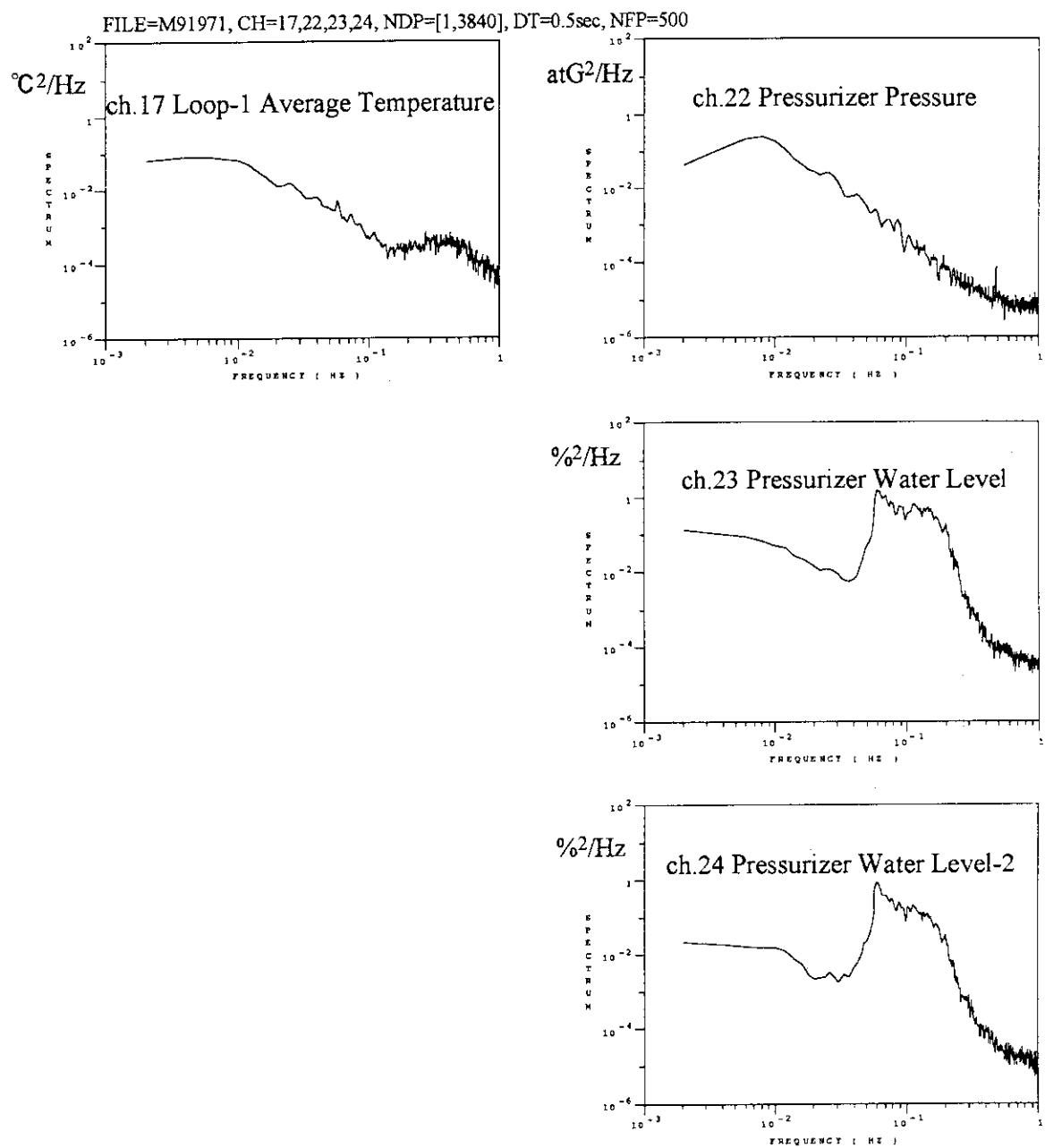


Fig.5.9(d) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その4)

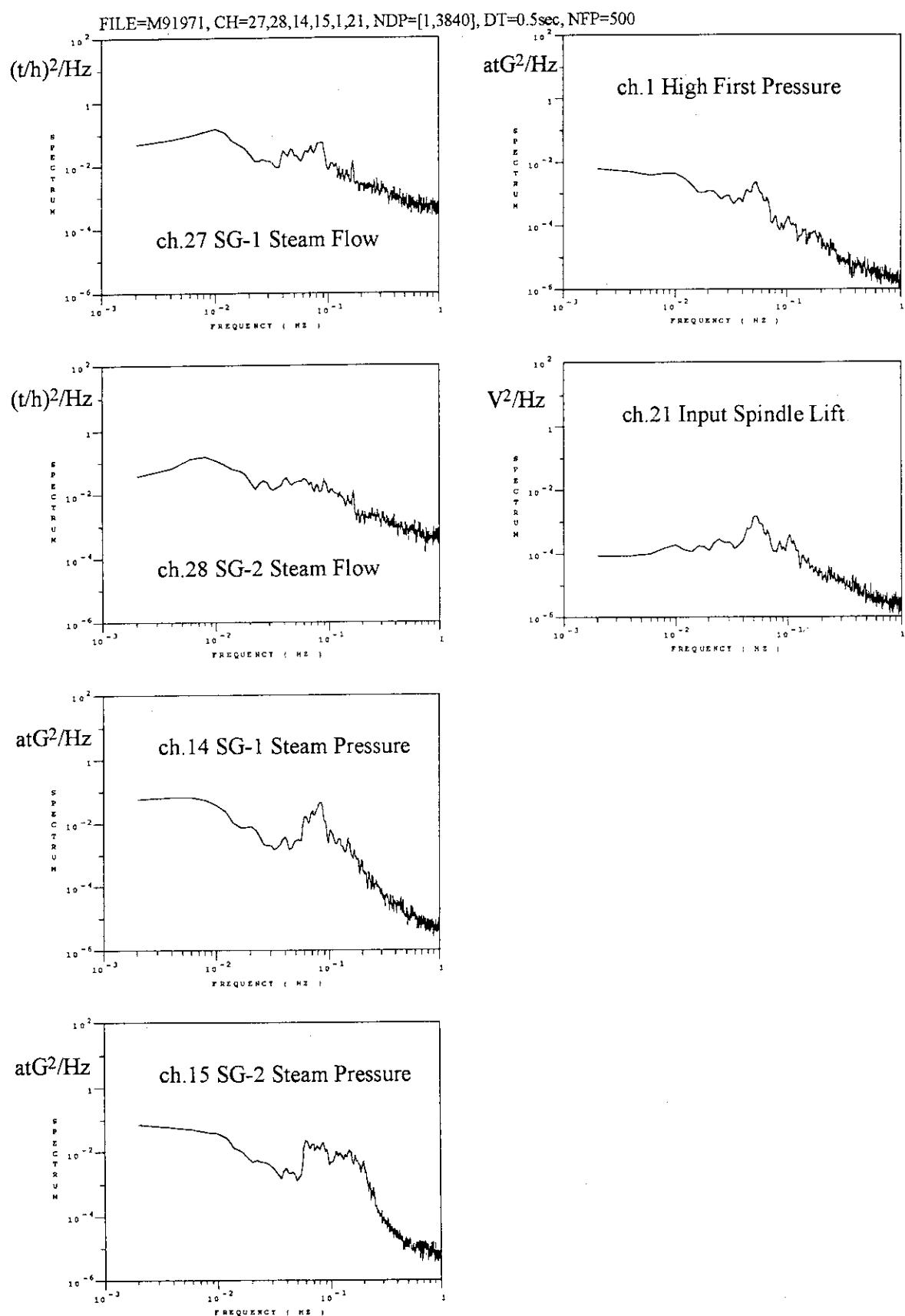


Fig.5.9(e) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その5)

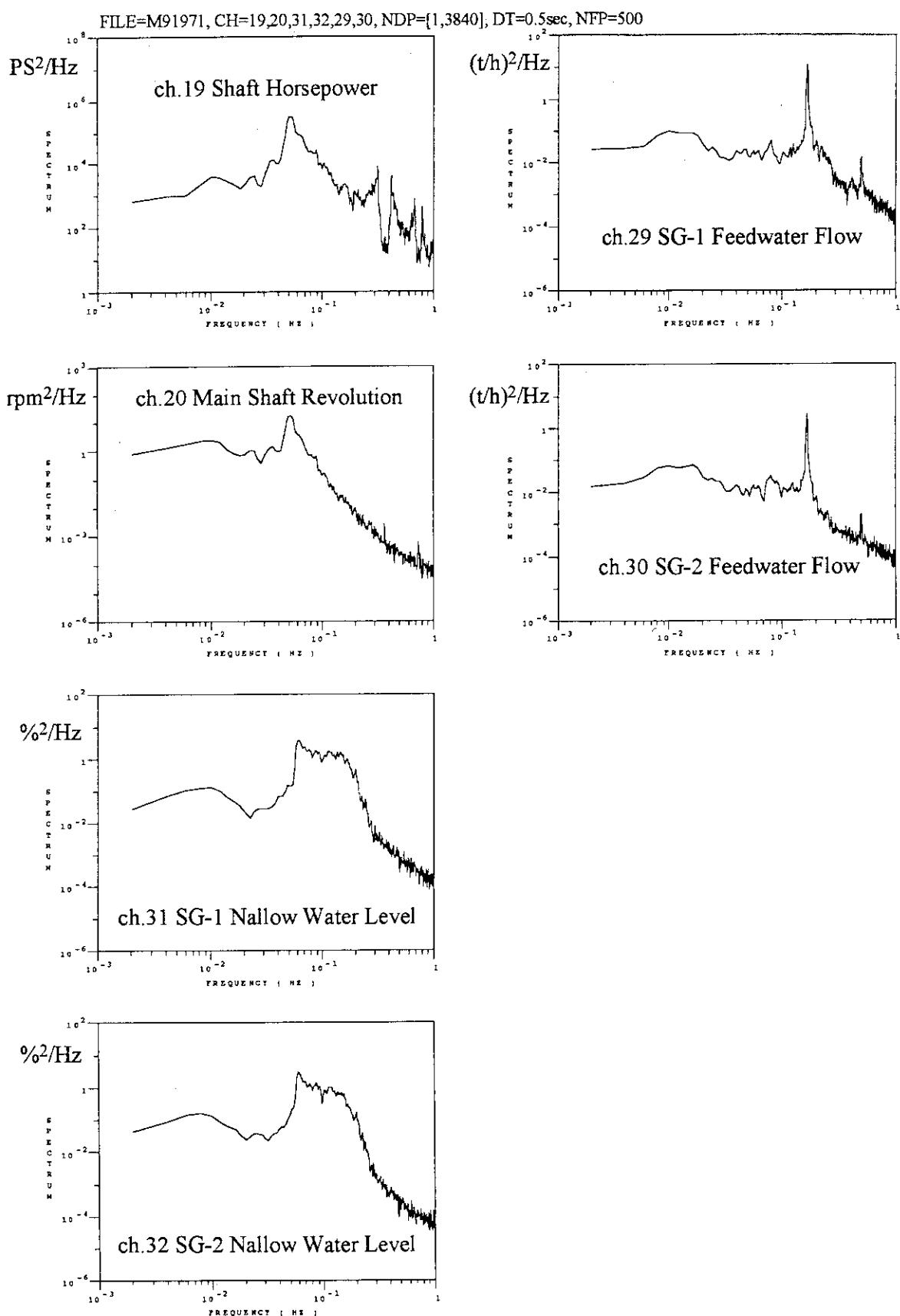


Fig.5.9(f) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その6)

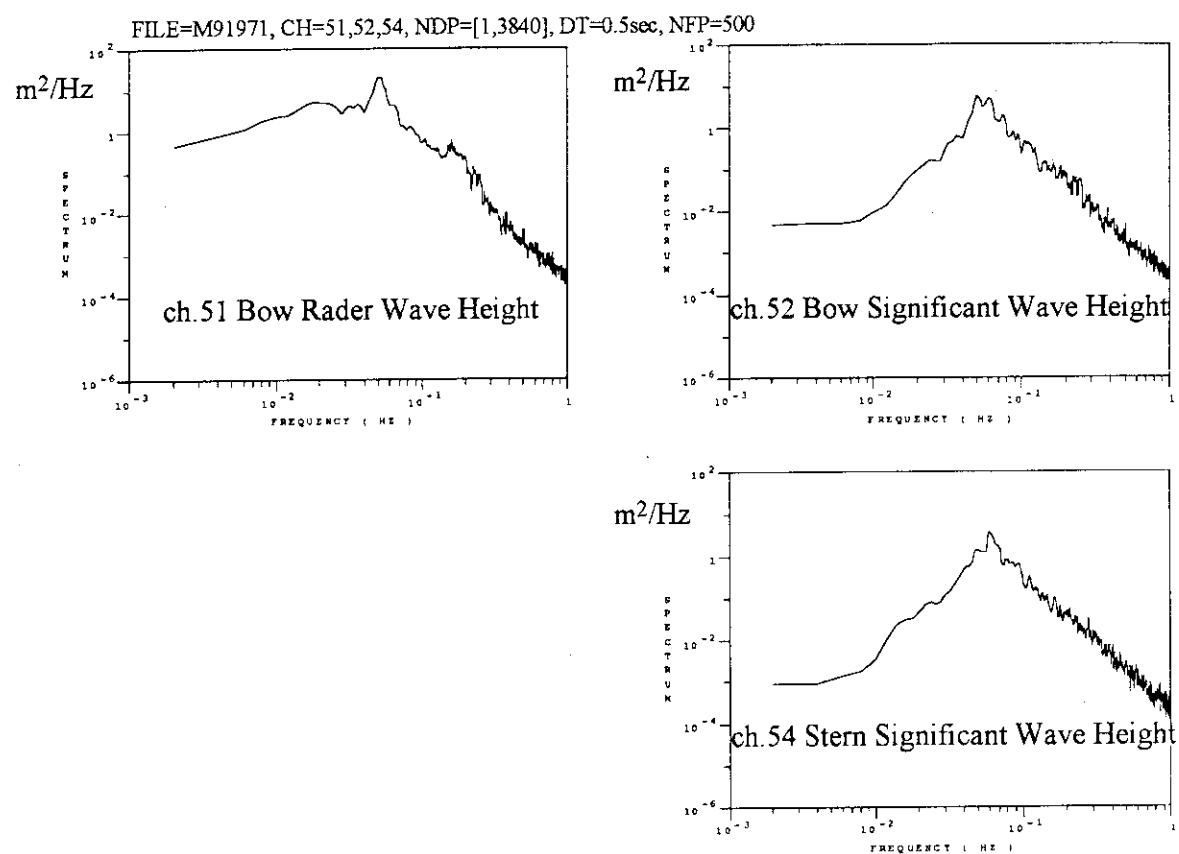


Fig.5.9(g) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その7)

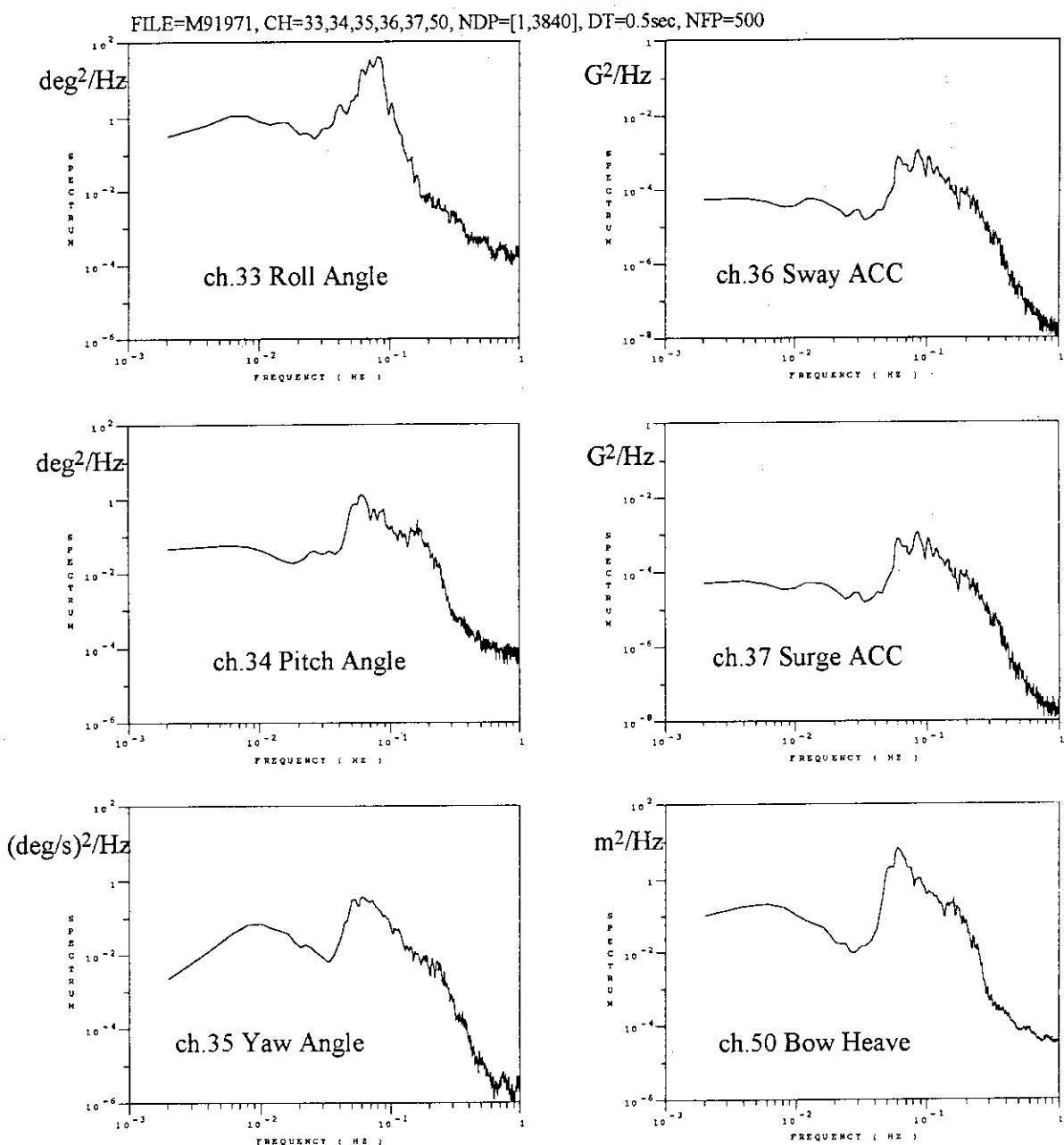


Fig.5.9(h) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その8)

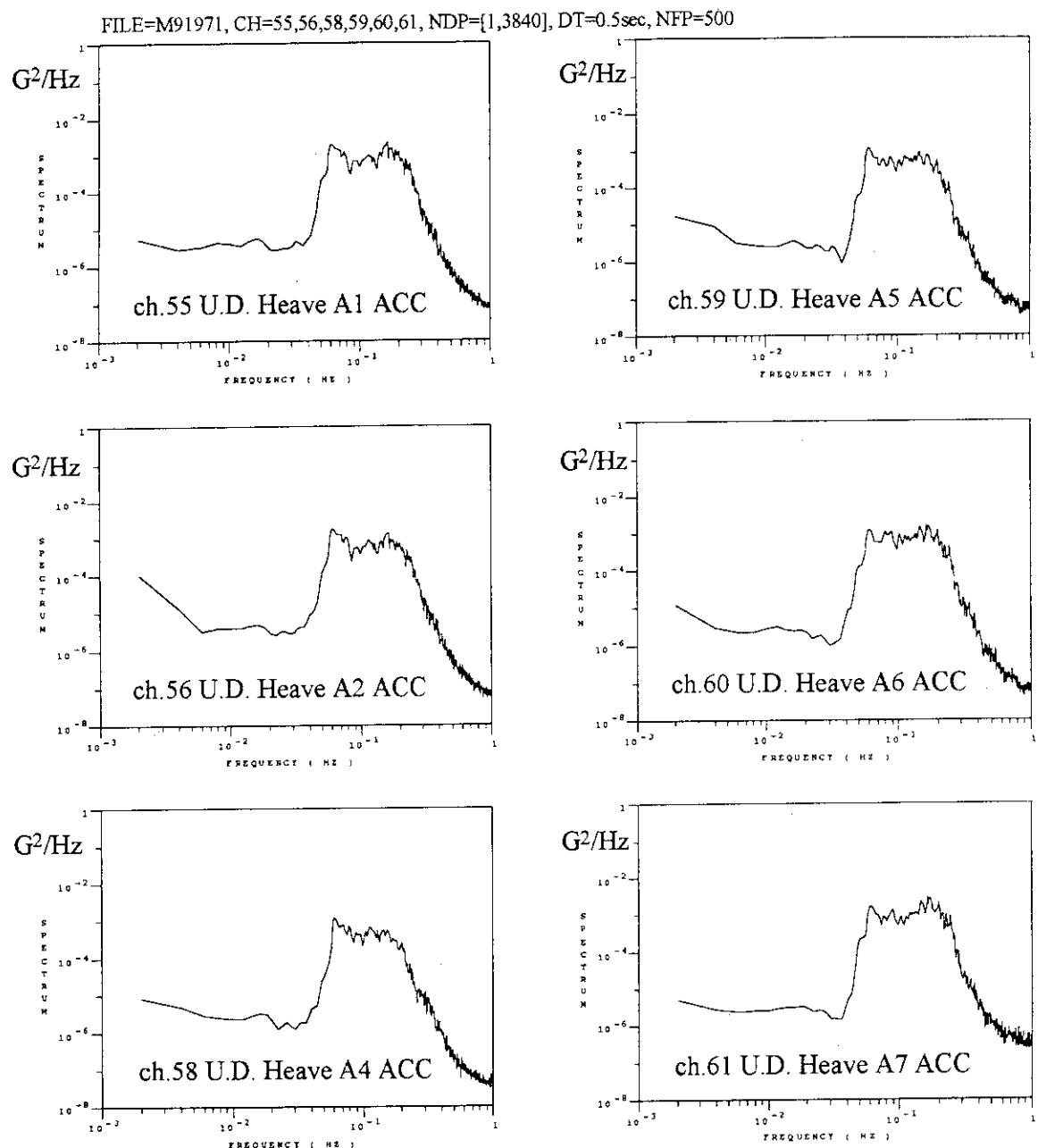


Fig.5.9(i) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その9)

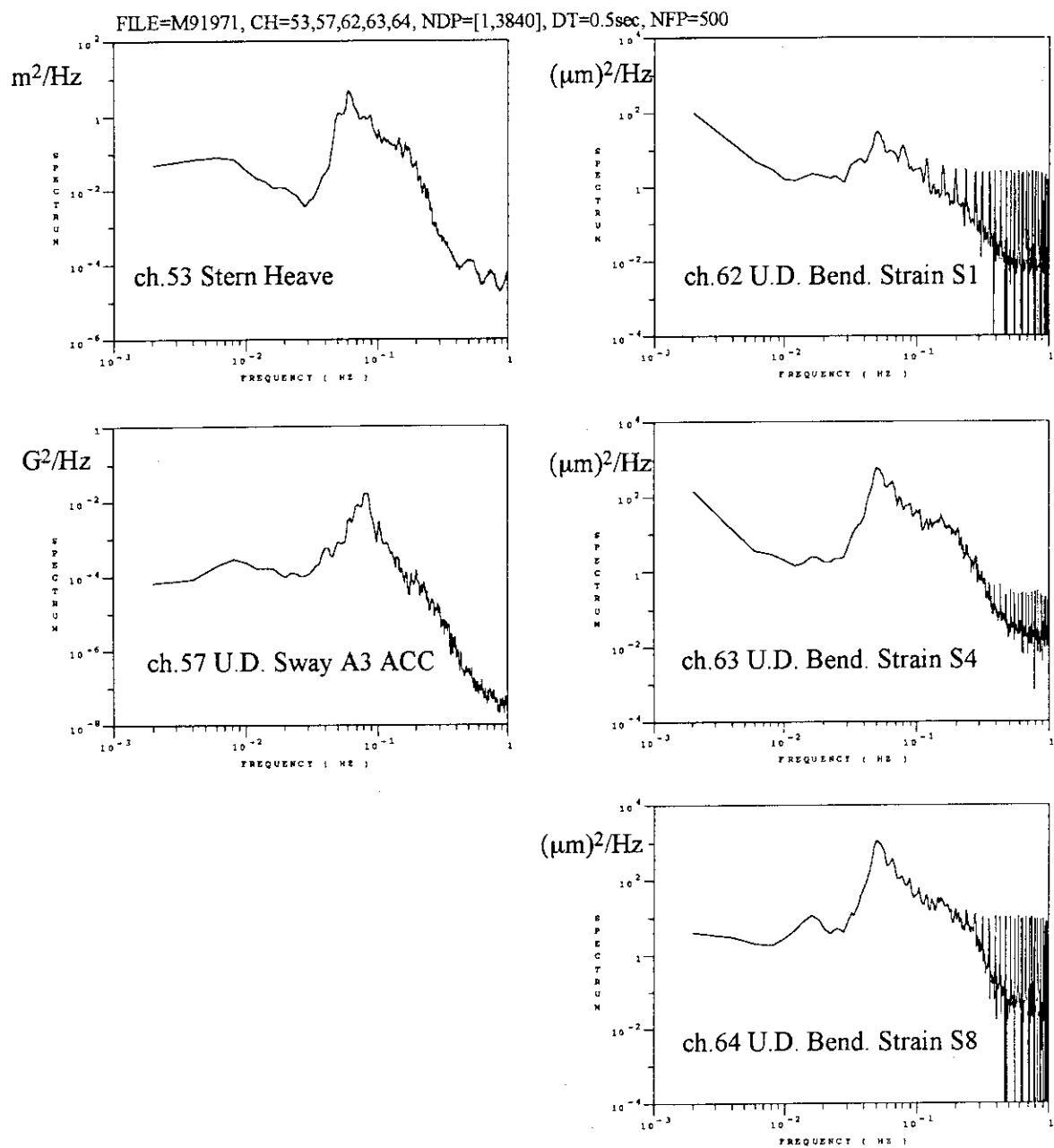


Fig.5.9(j) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その10)

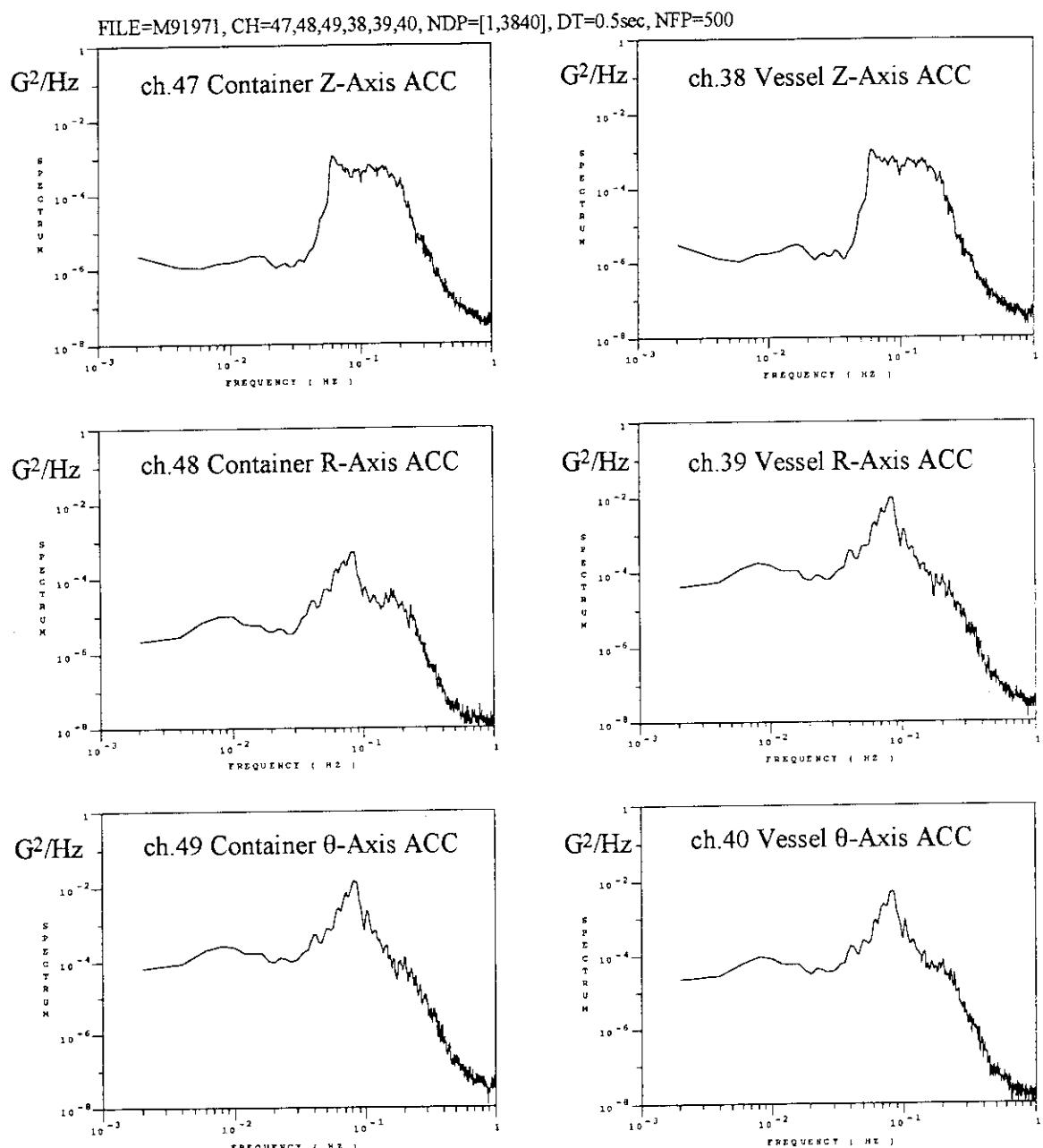


Fig.5.9(k) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その11)

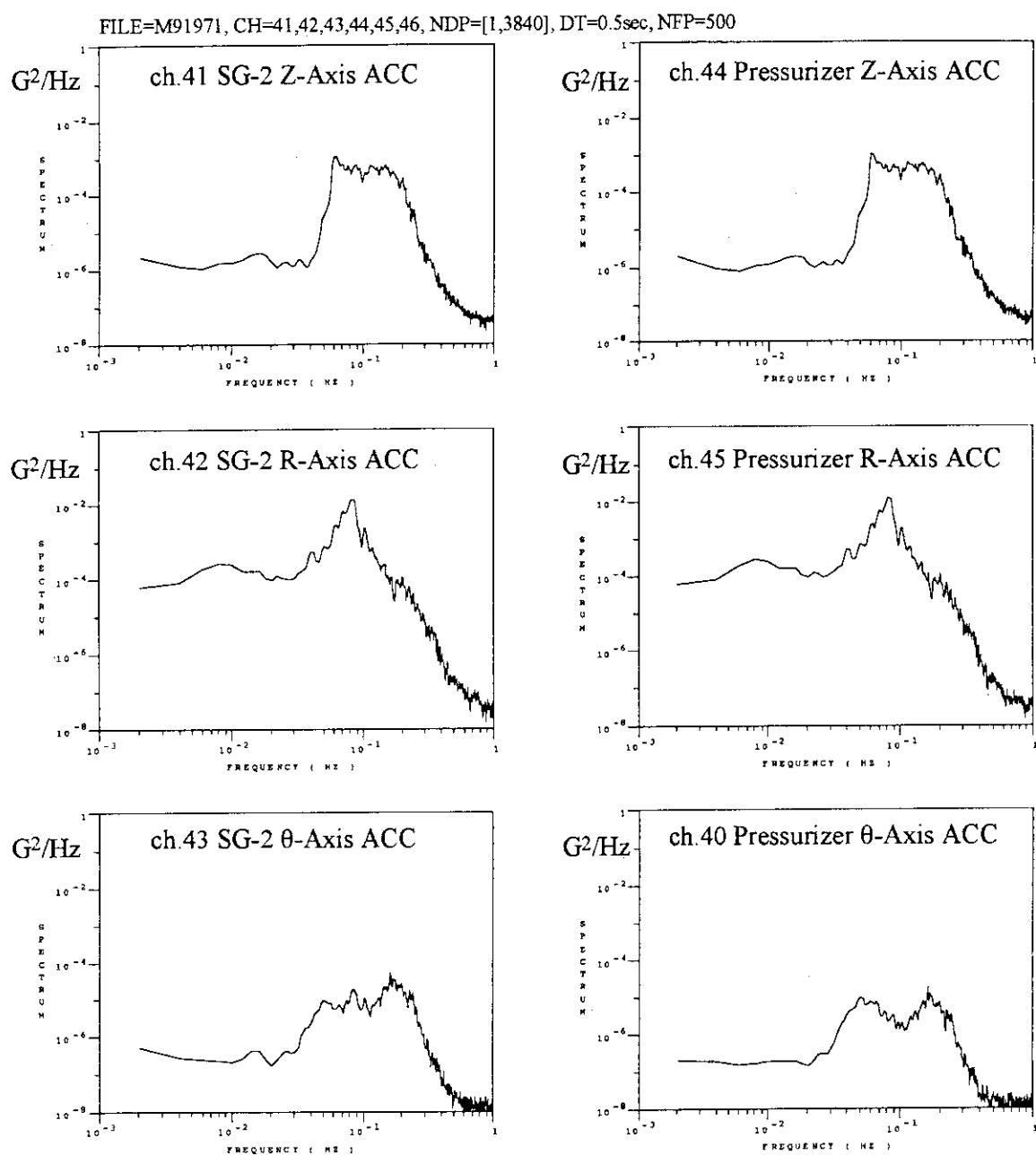


Fig.5.9(l) 第3回反応度外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その12)

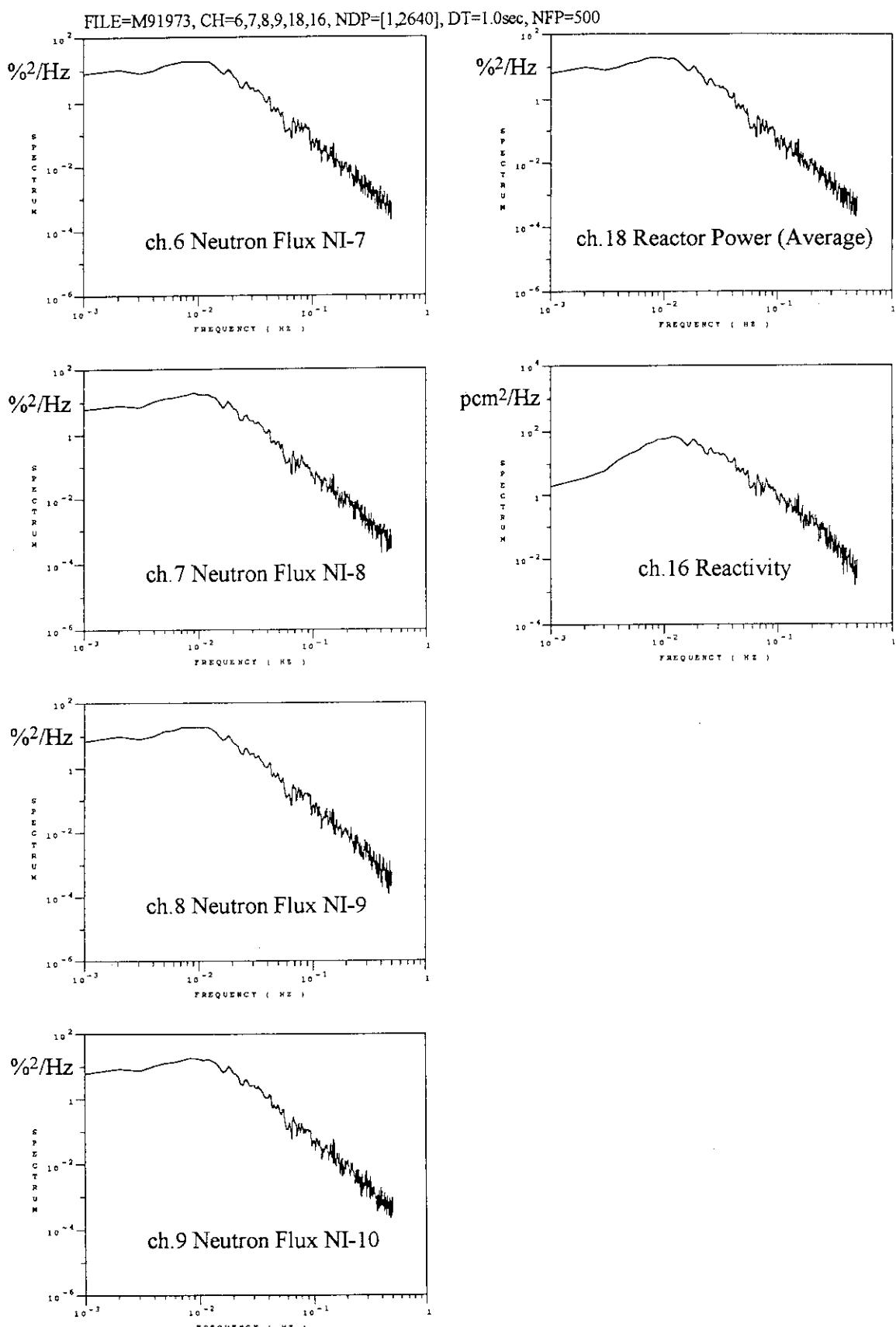


Fig.5.10(a) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その1)

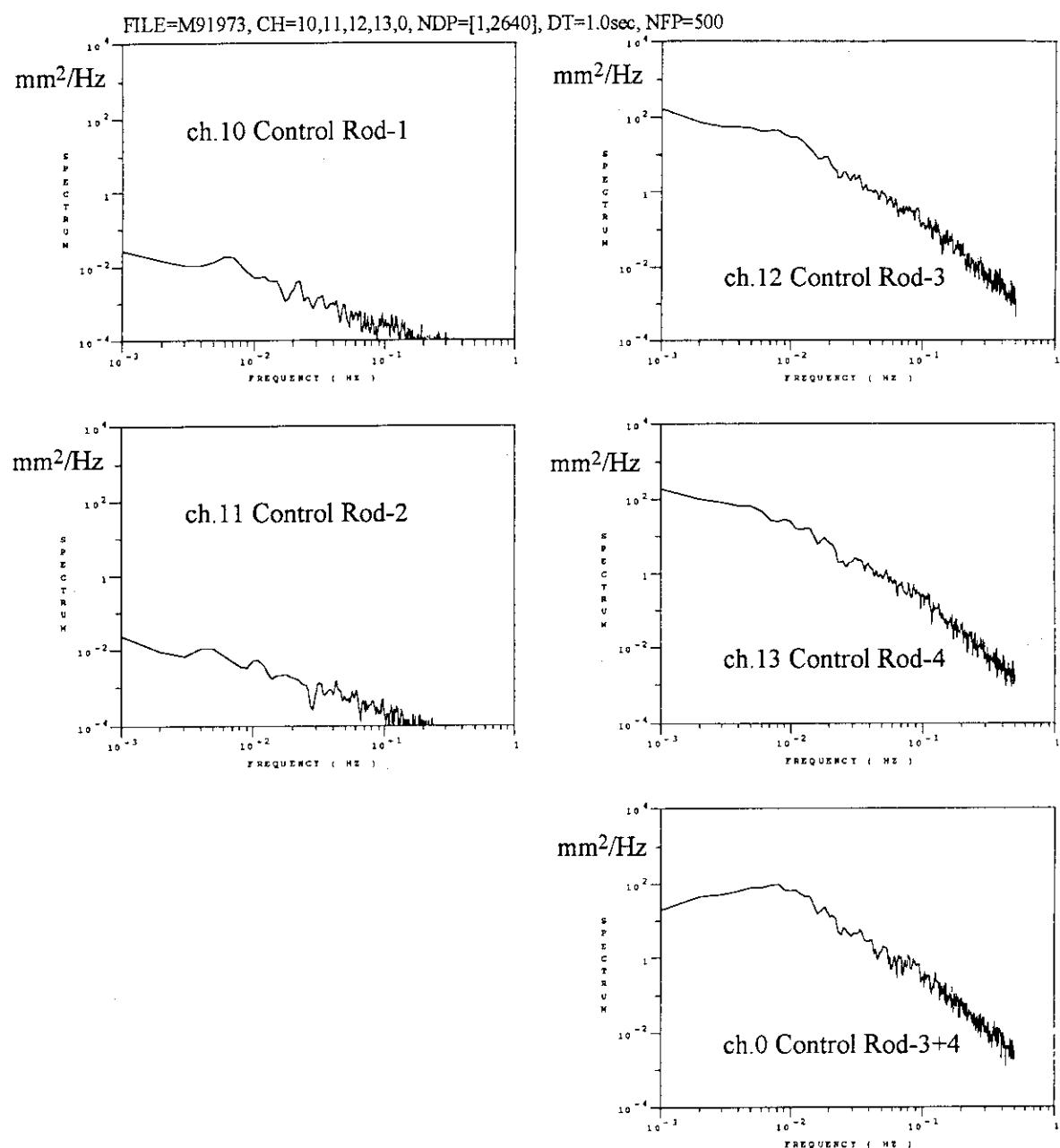


Fig.5.10(b) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その2)

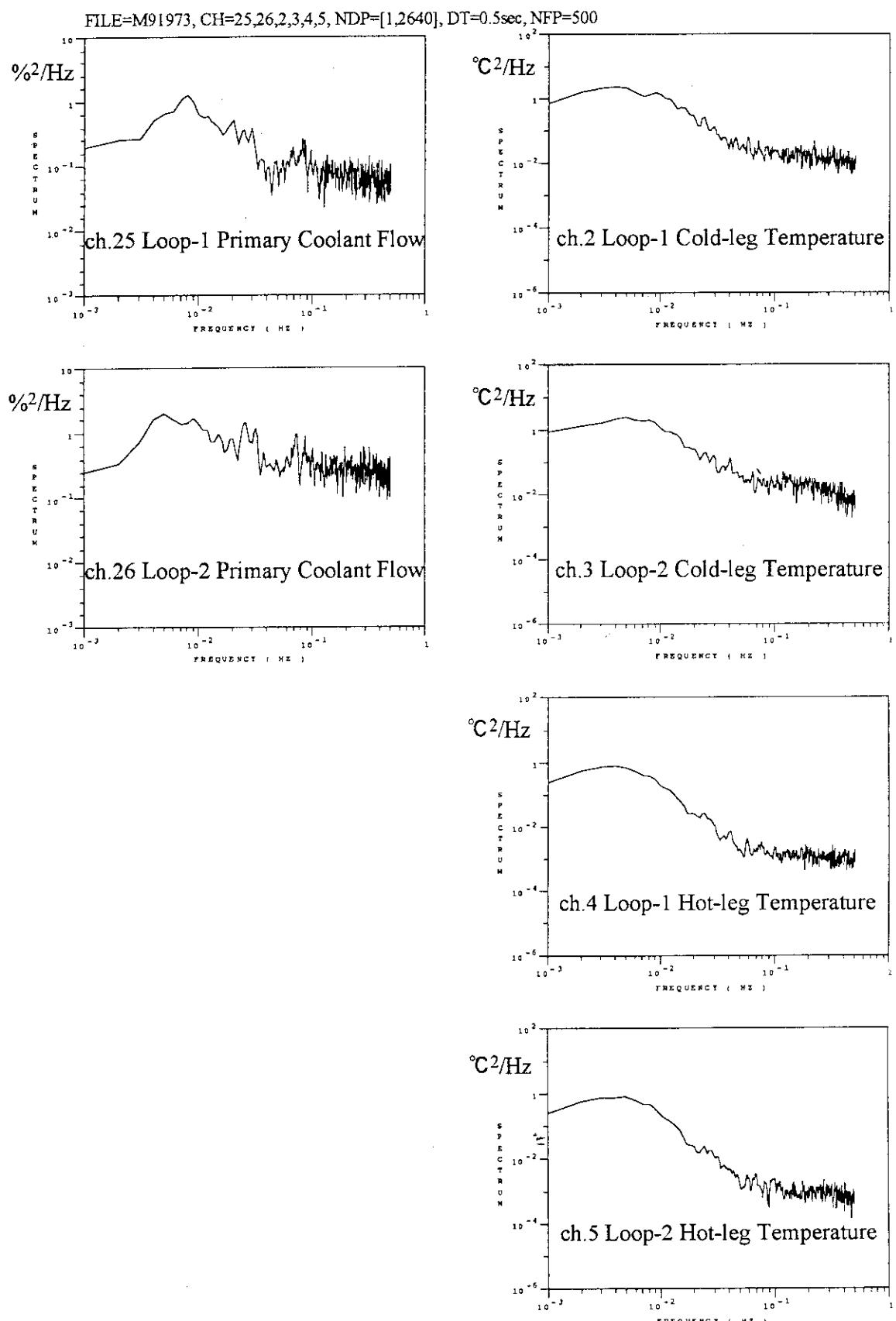


Fig.5.10(c) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その3)

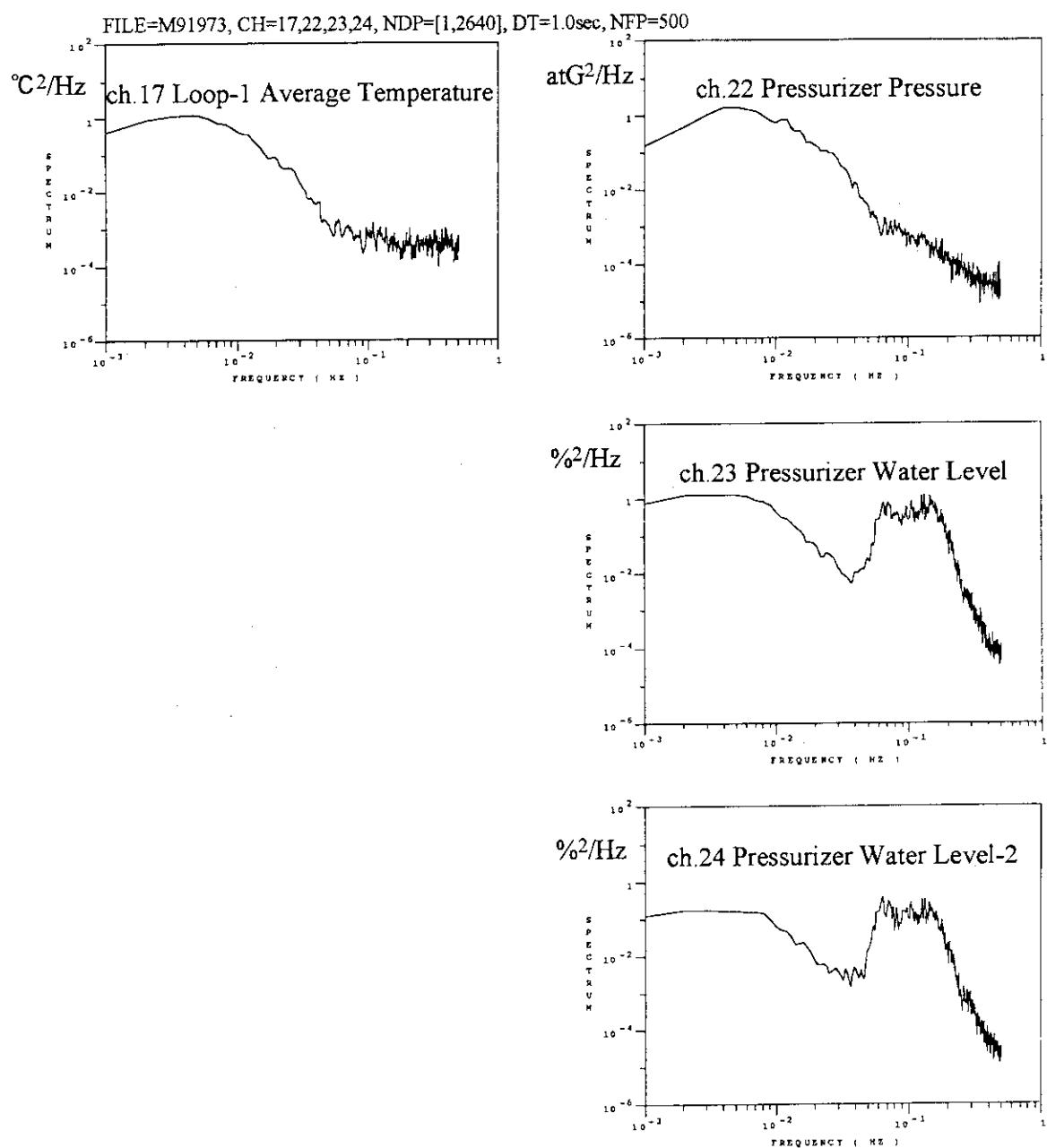


Fig.5.10(d) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その4)

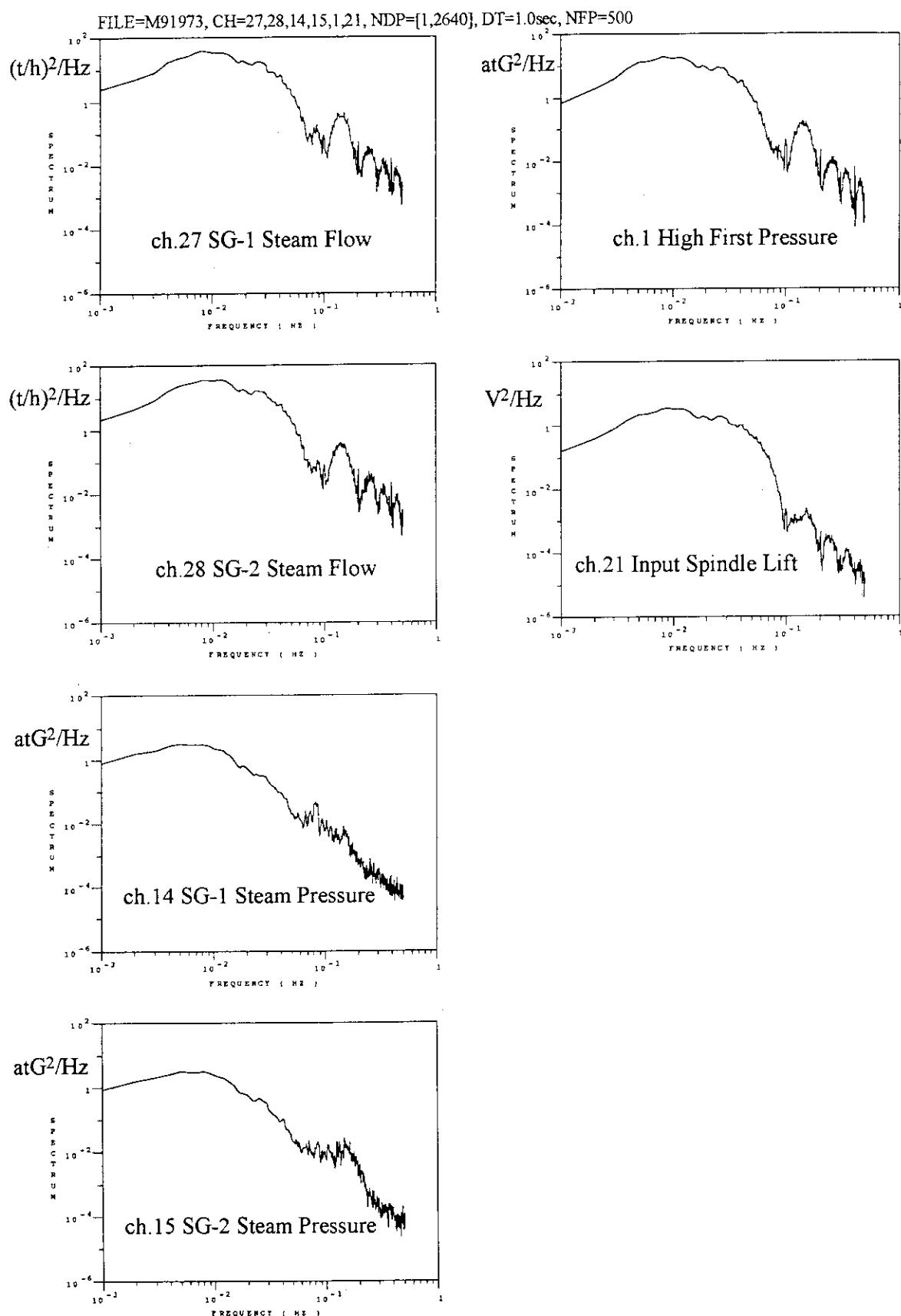


Fig.5.10(e) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その5)

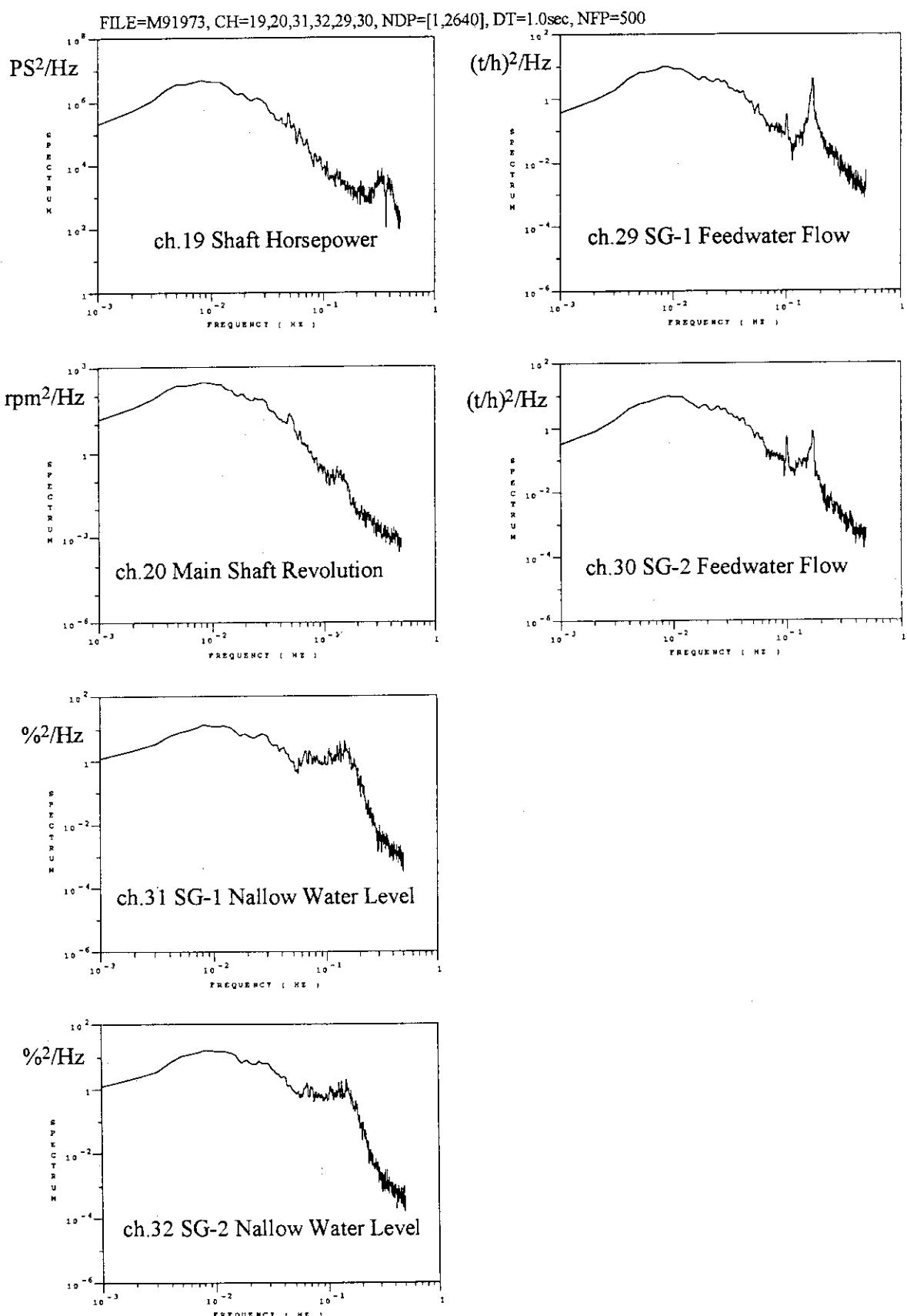


Fig.5.10(f) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その6)

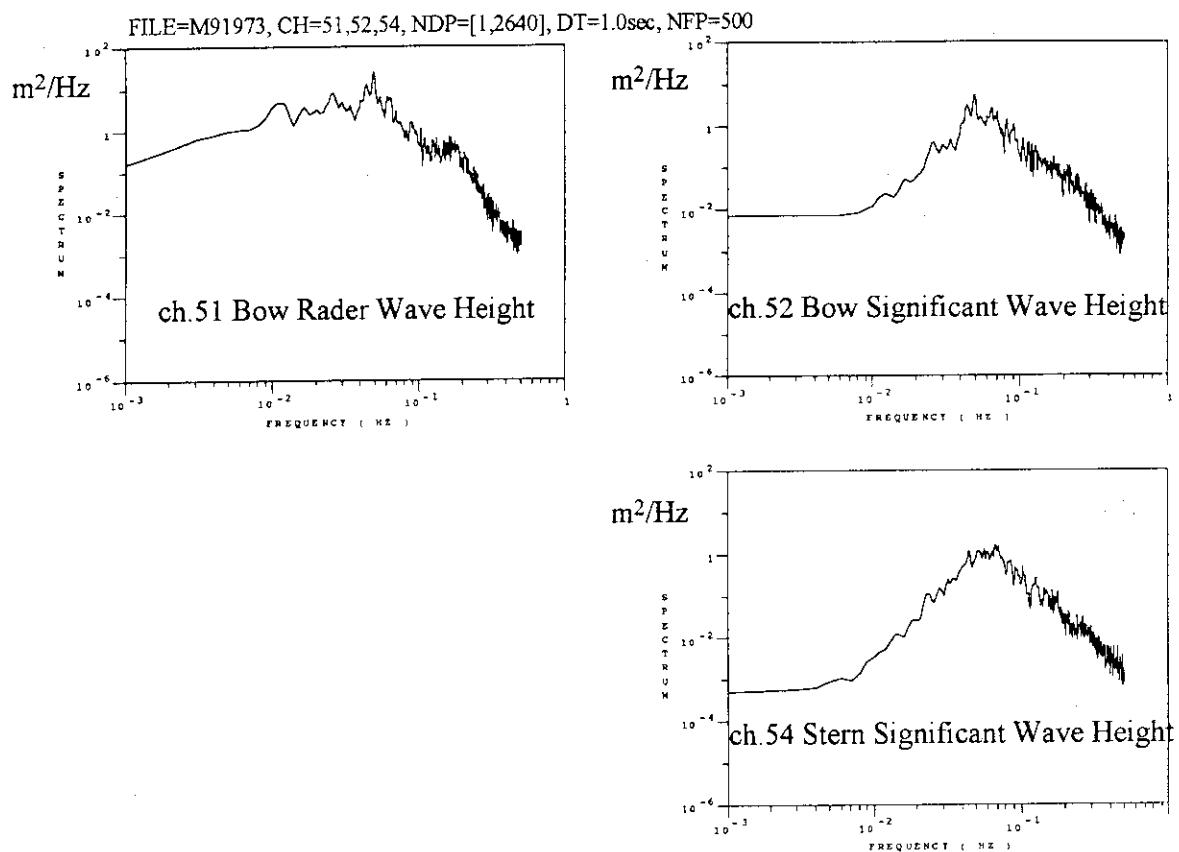


Fig.5.10(g) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その7)

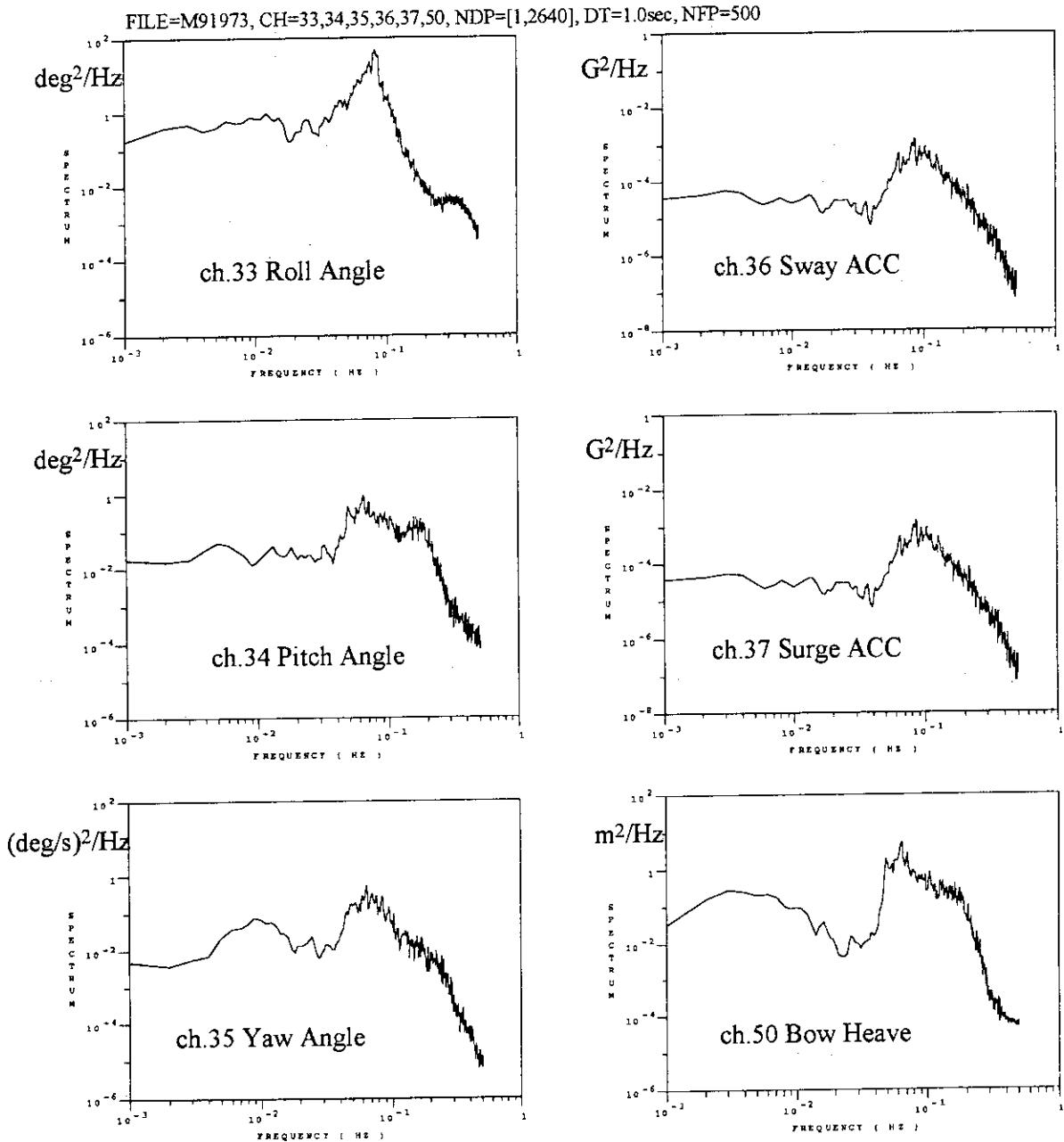


Fig.5.10(h) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その8)

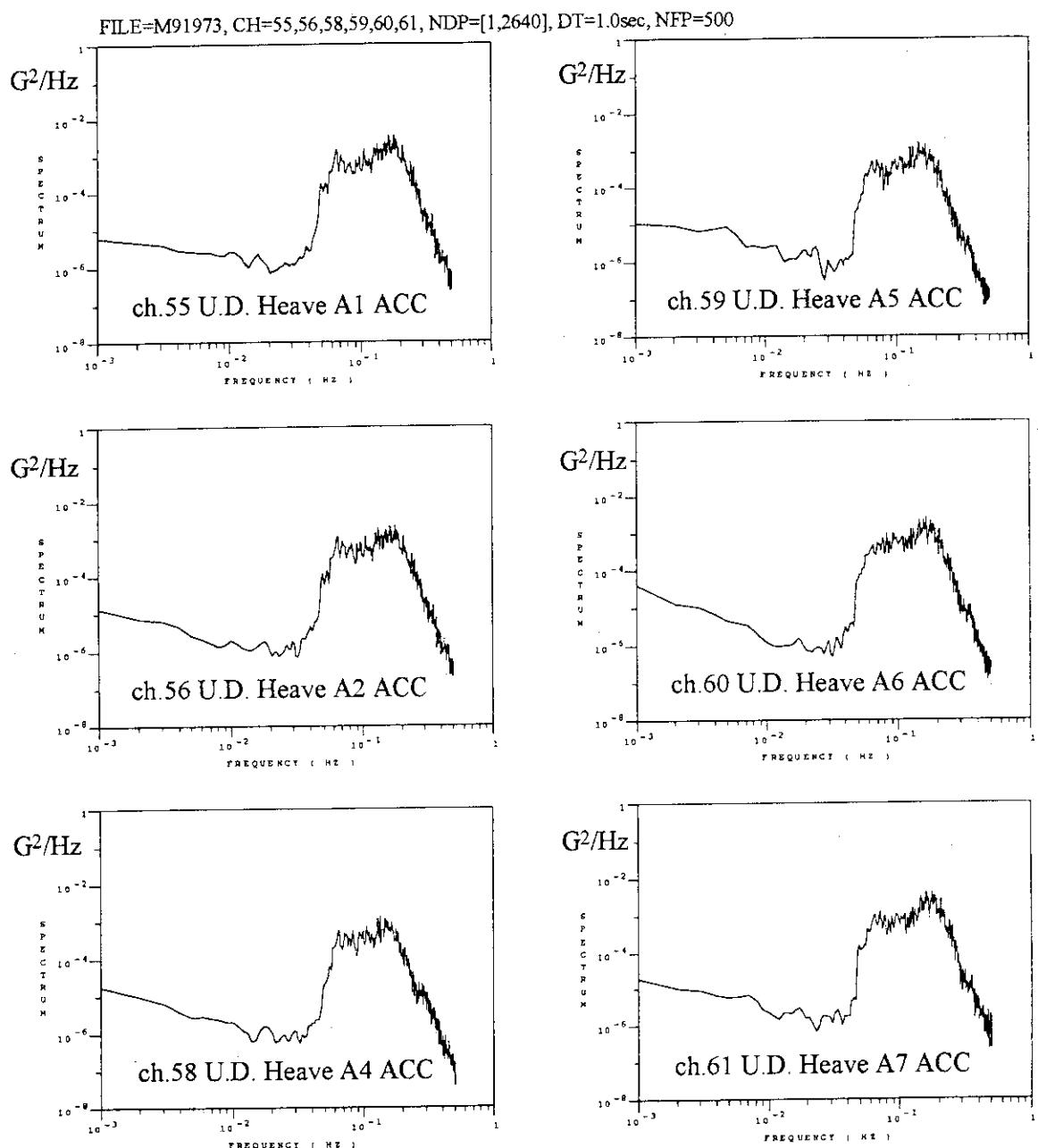


Fig.5.10(i) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その9)

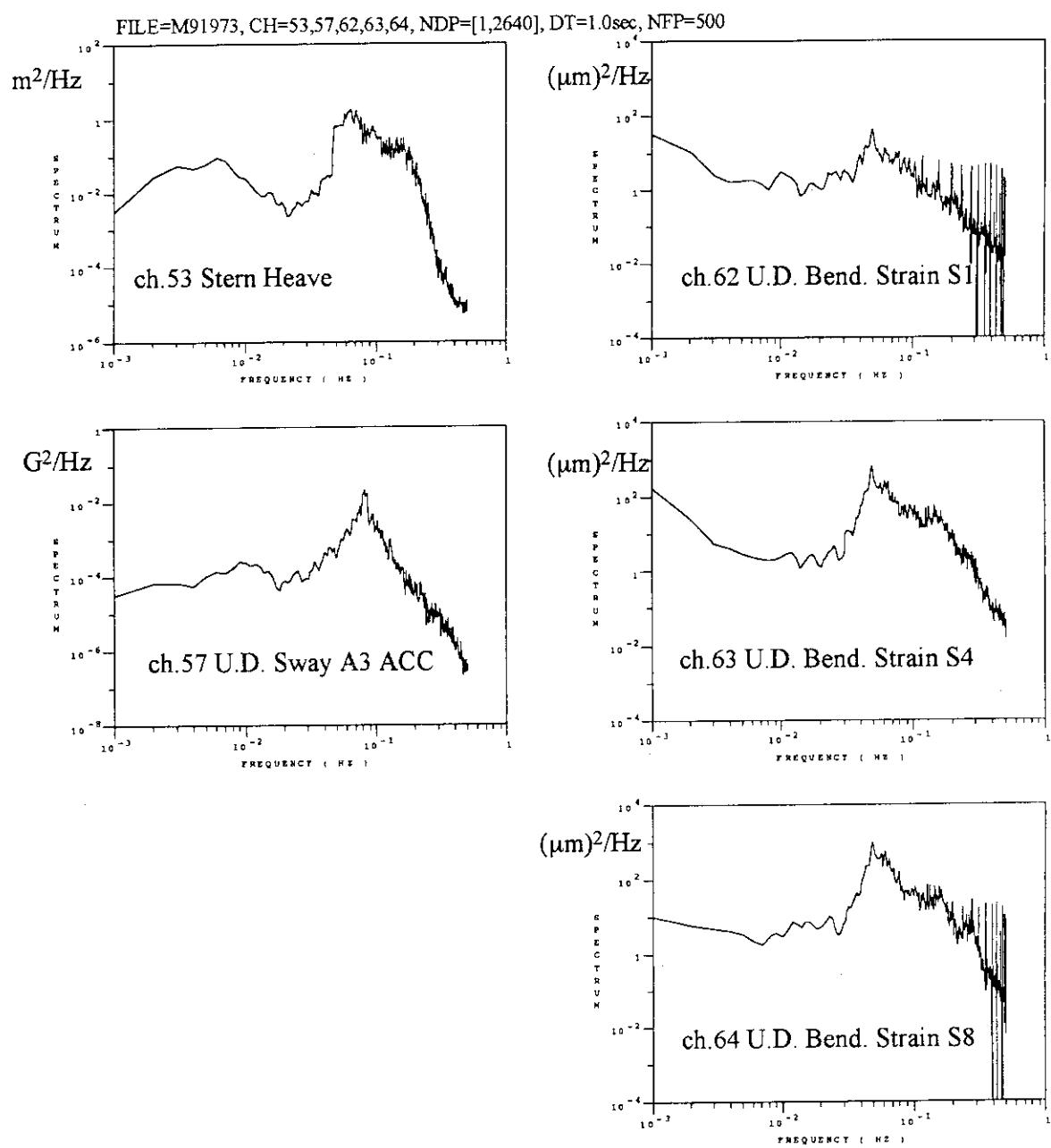


Fig.5.10(j) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その10)

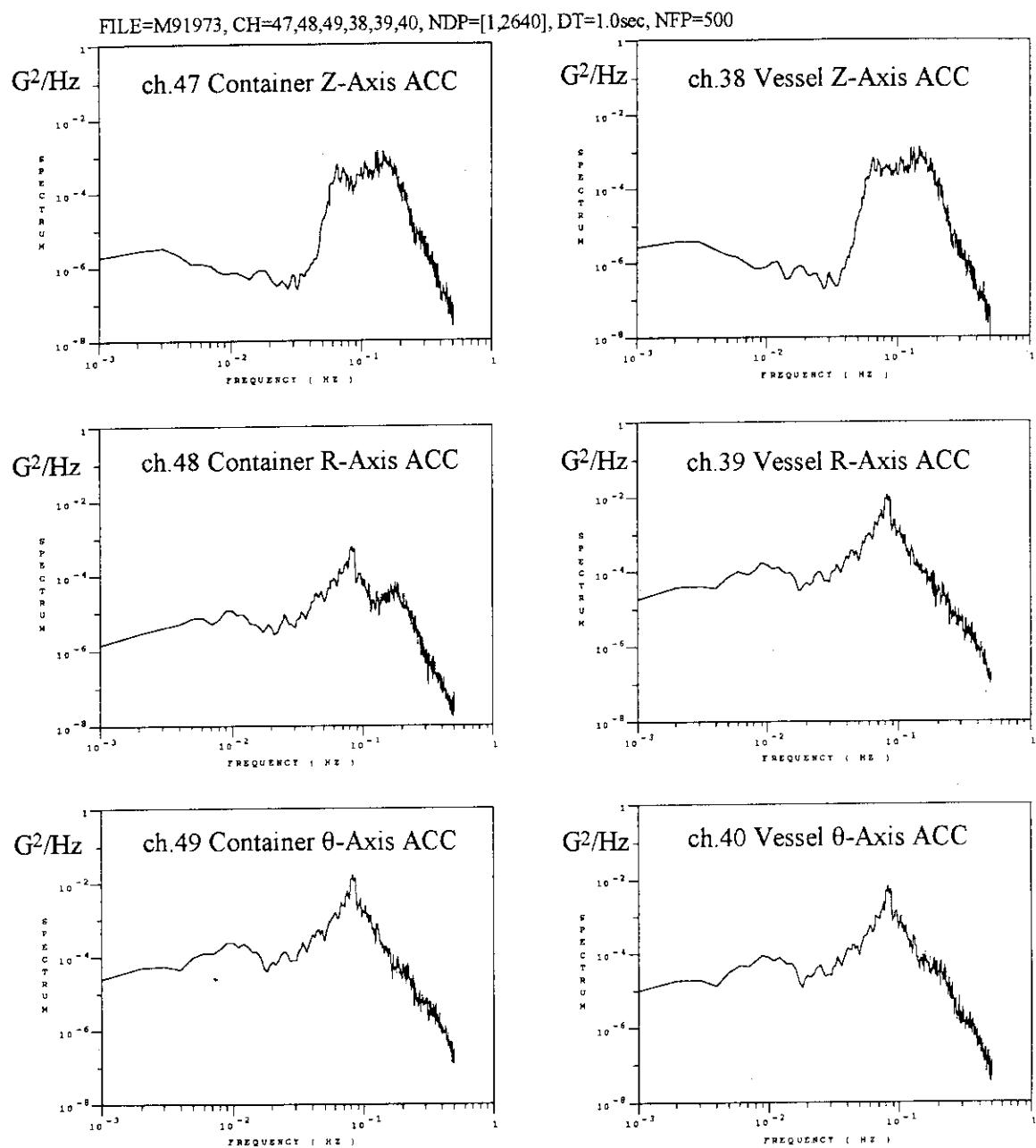


Fig.5.10(k) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その11)

FILE=M91973, CH=41,42,43,44,45,46, NDP=[1,2640], DT=1.0sec, NFP=500

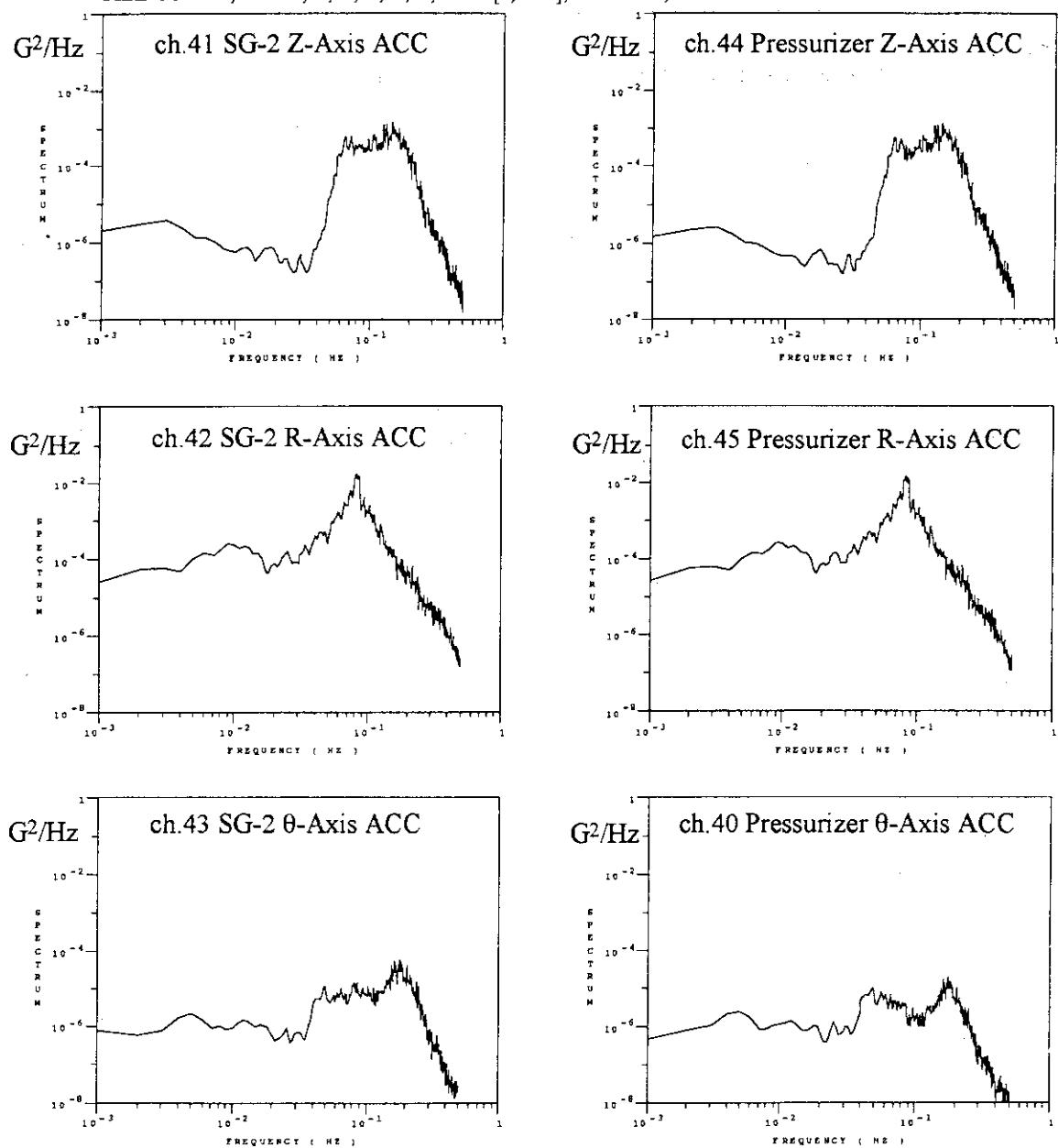


Fig.5.10(l) 第3回負荷外乱実験のAC信号のパワー・スペクトル(その12)

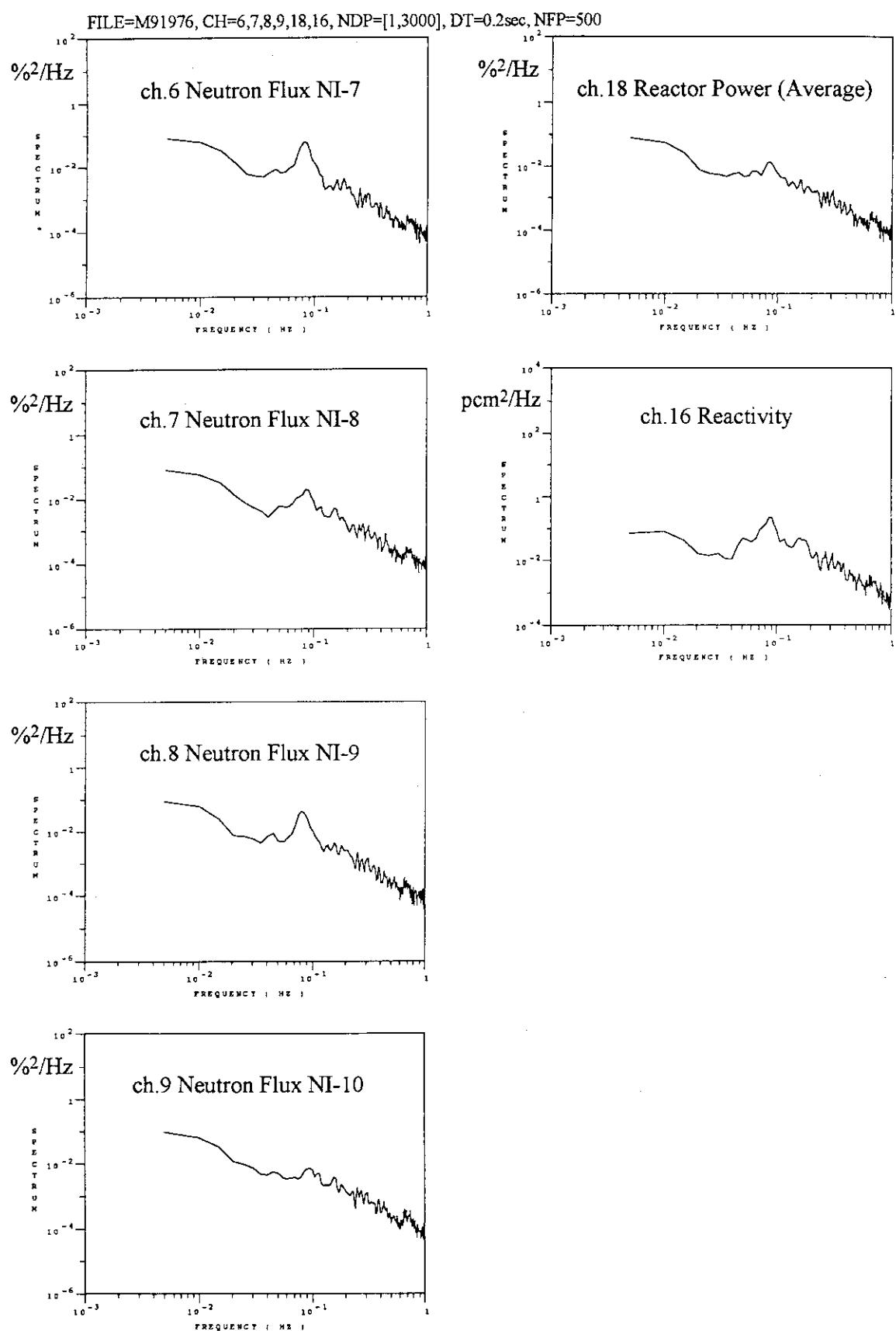


Fig.5.11(a) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その1)

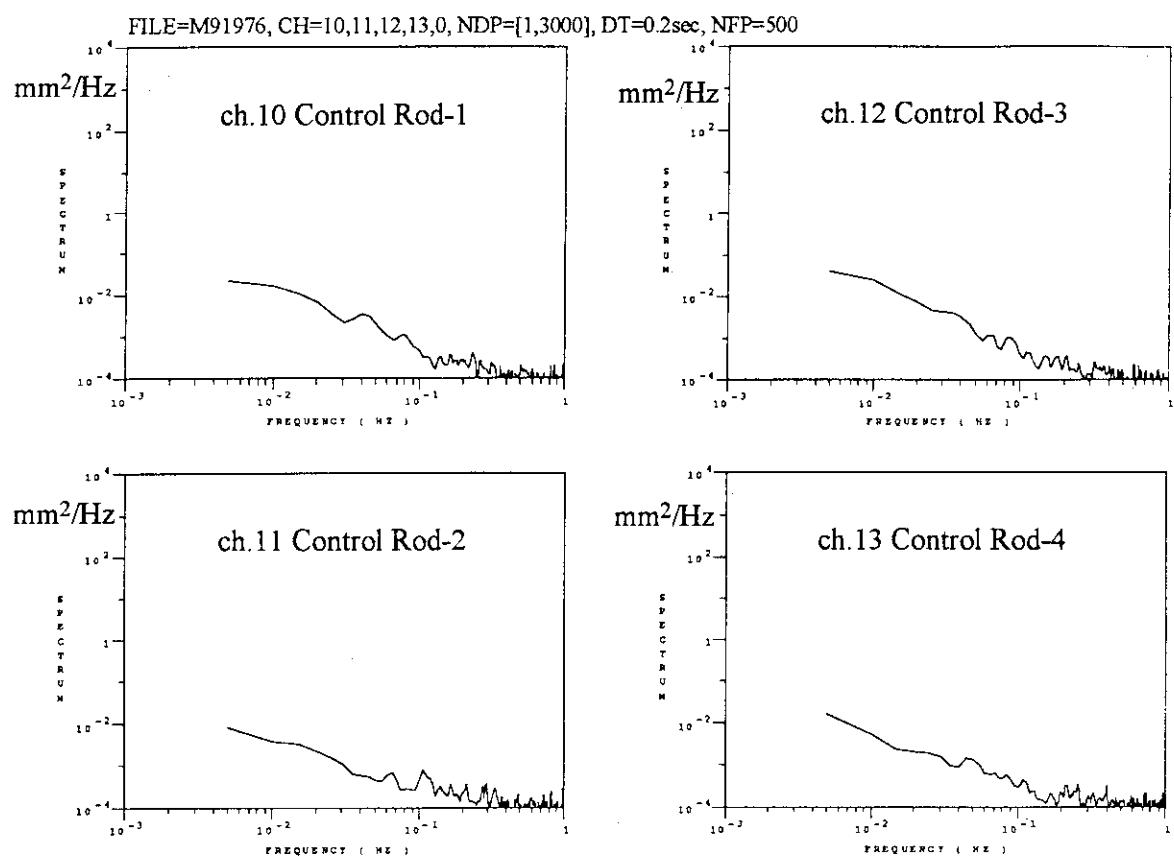


Fig.5.11(b) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その2)

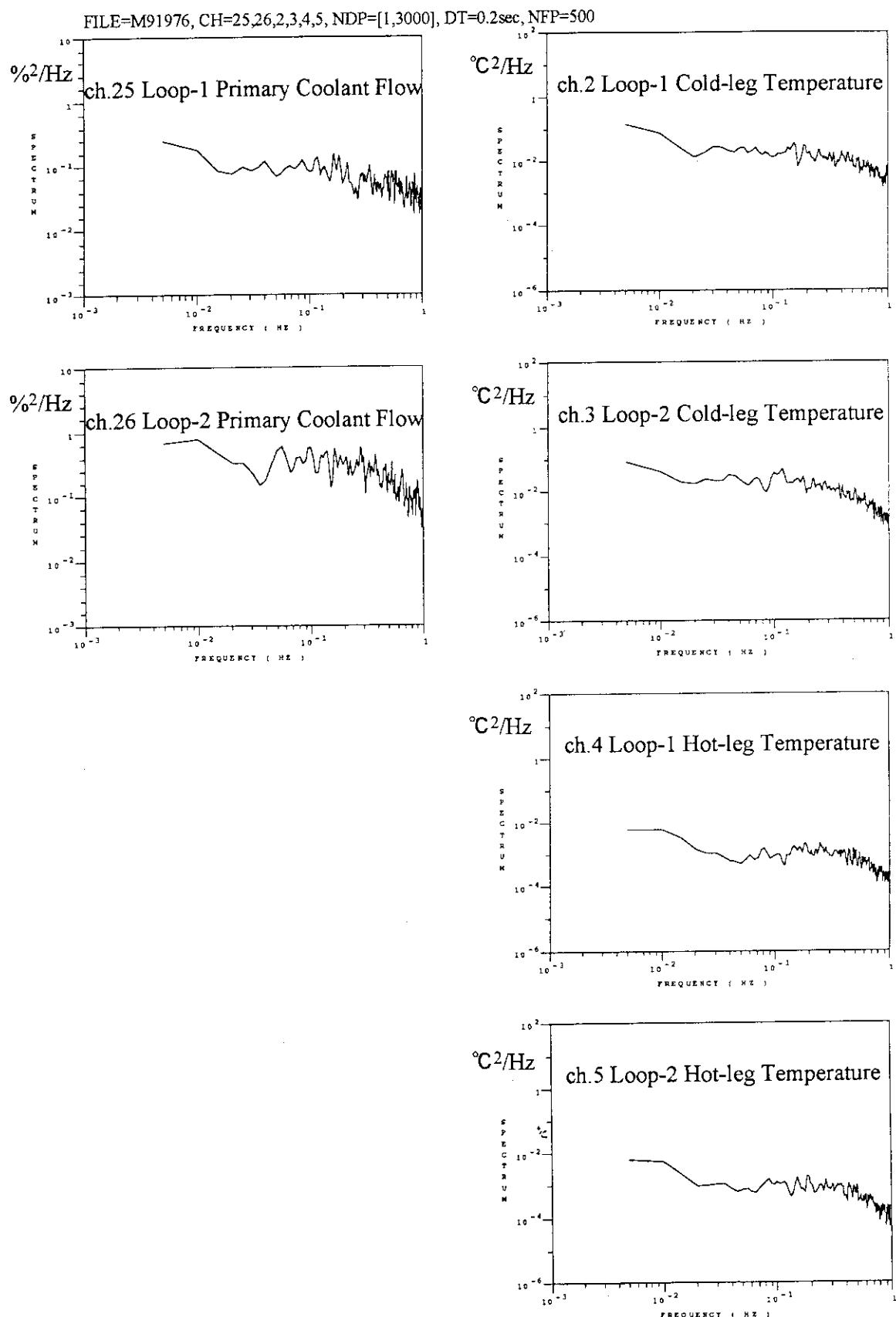


Fig.5.11(c) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その3)

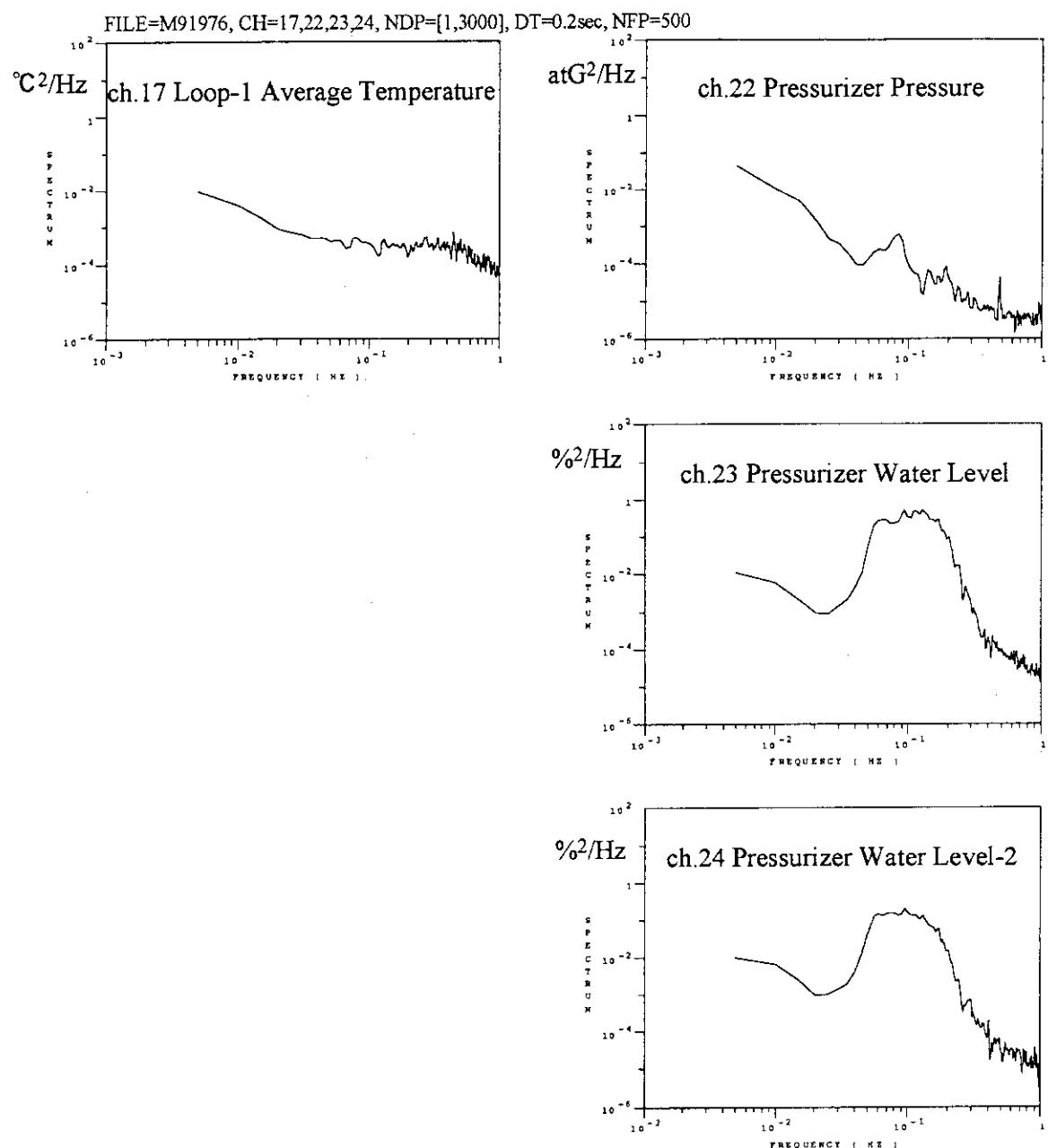


Fig.5.11(d) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その4)

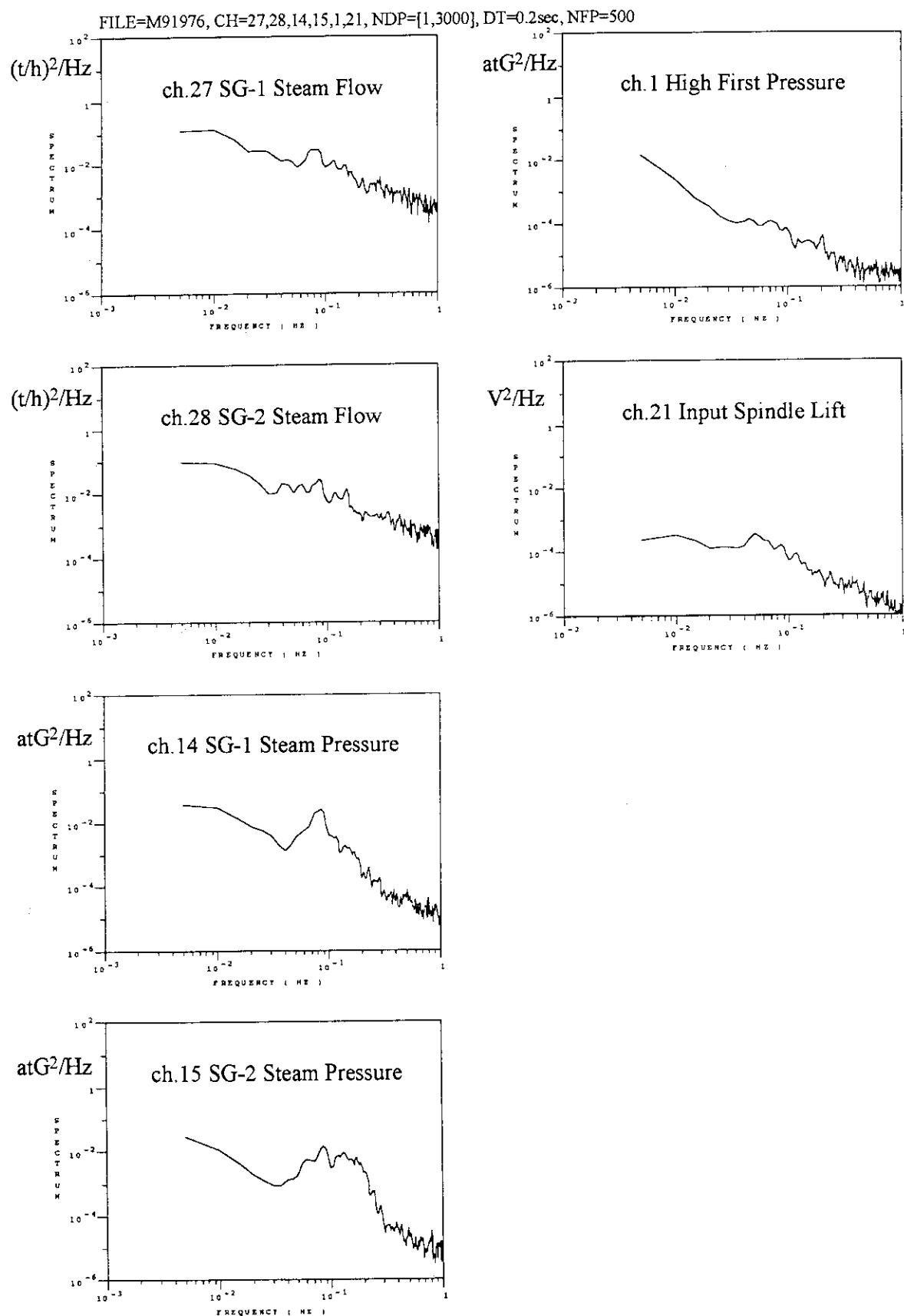


Fig. 5.11(e) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その5)

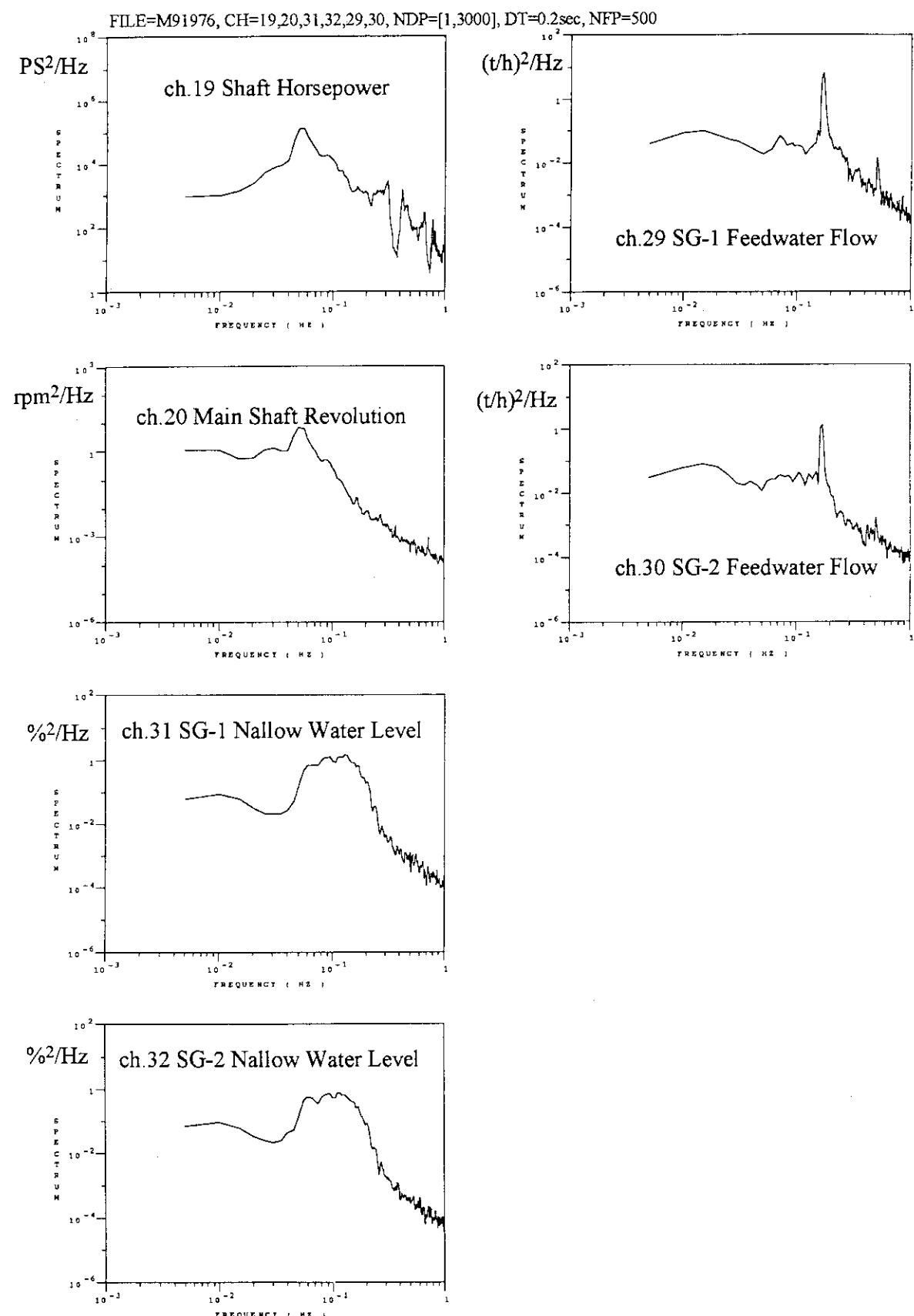


Fig.5.11(f) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その6)

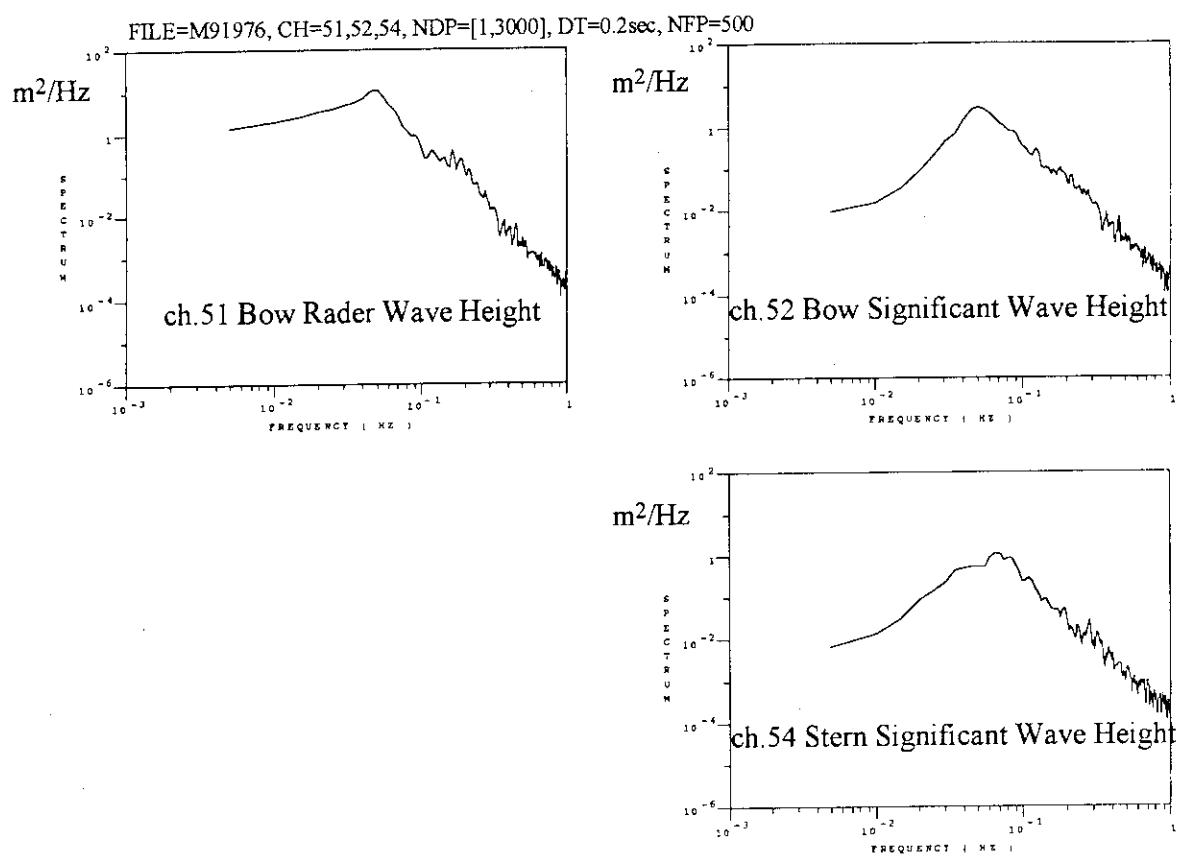


Fig.5.11(g) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その7)

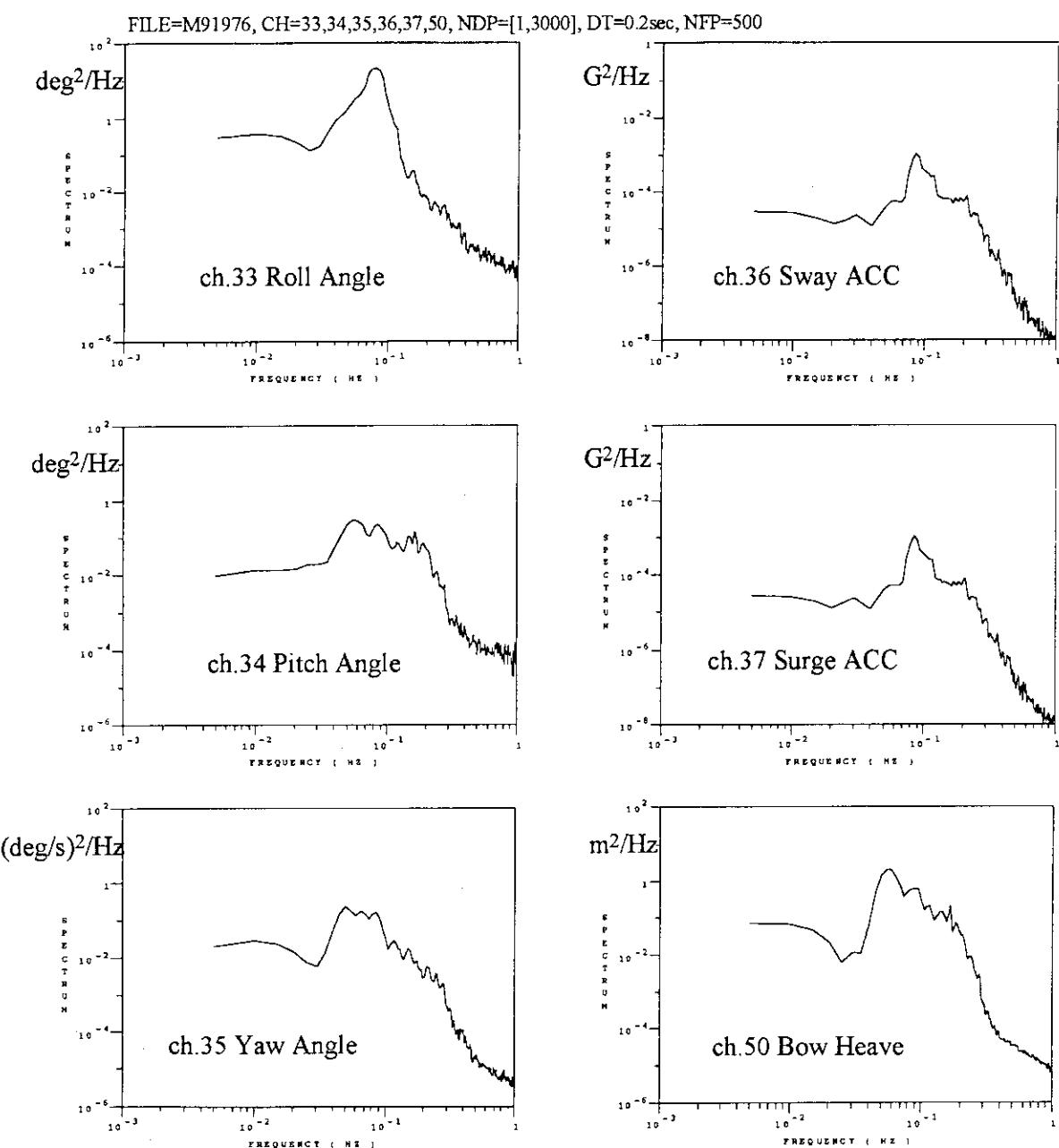


Fig.5.11(h) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その8)

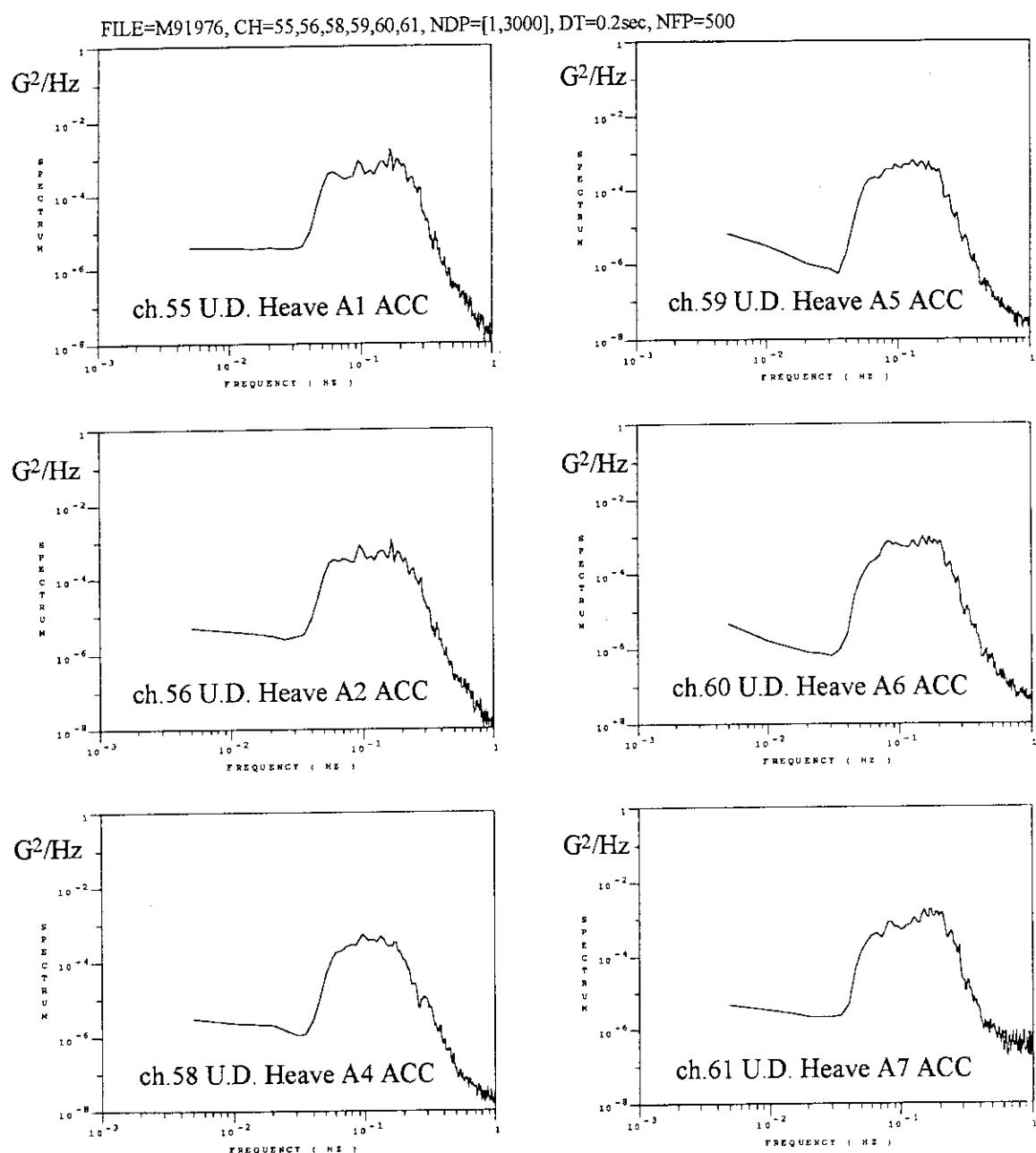


Fig.5.11(i) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その9)

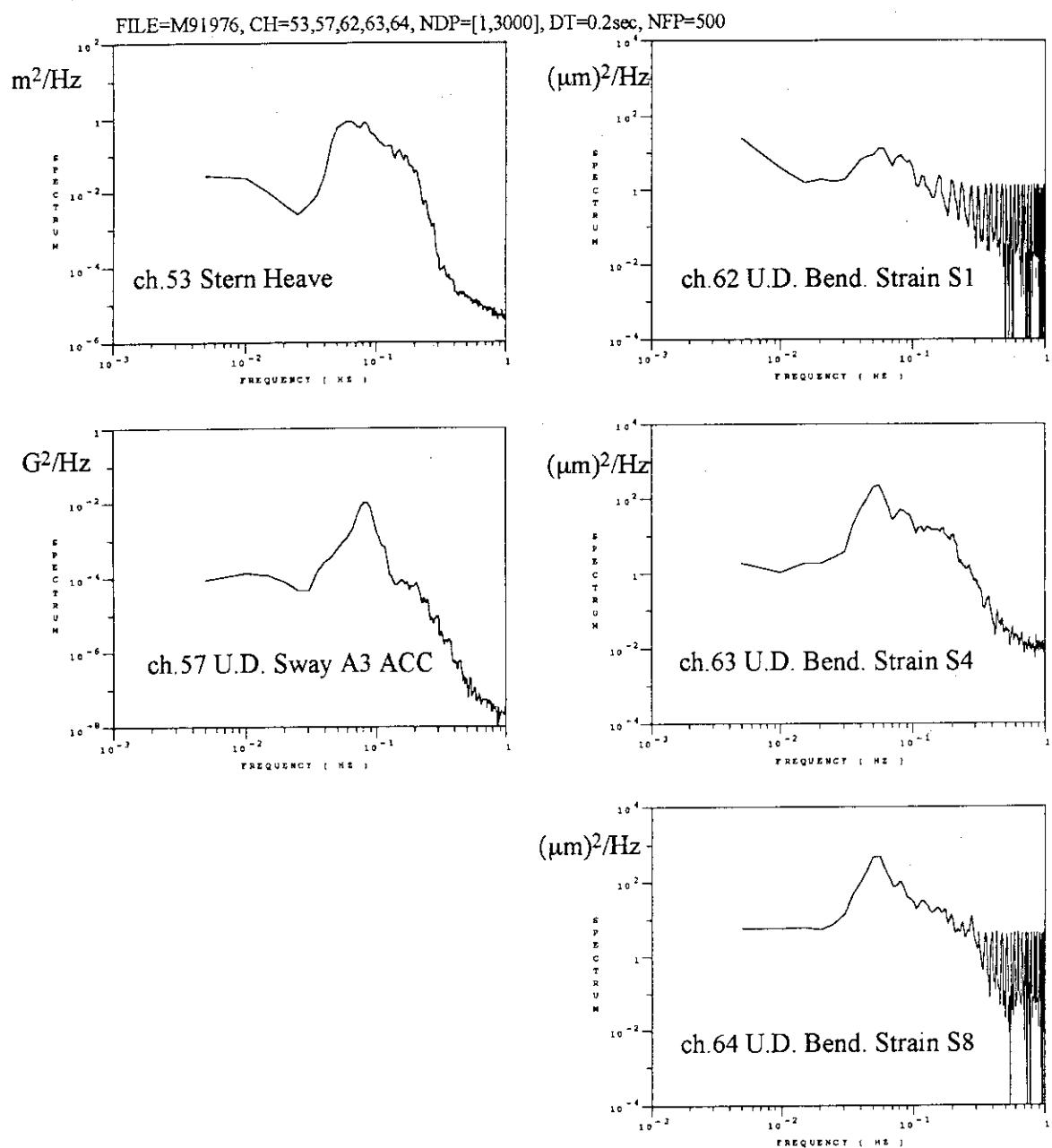


Fig.5.11(j) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・

スペクトル(その10)

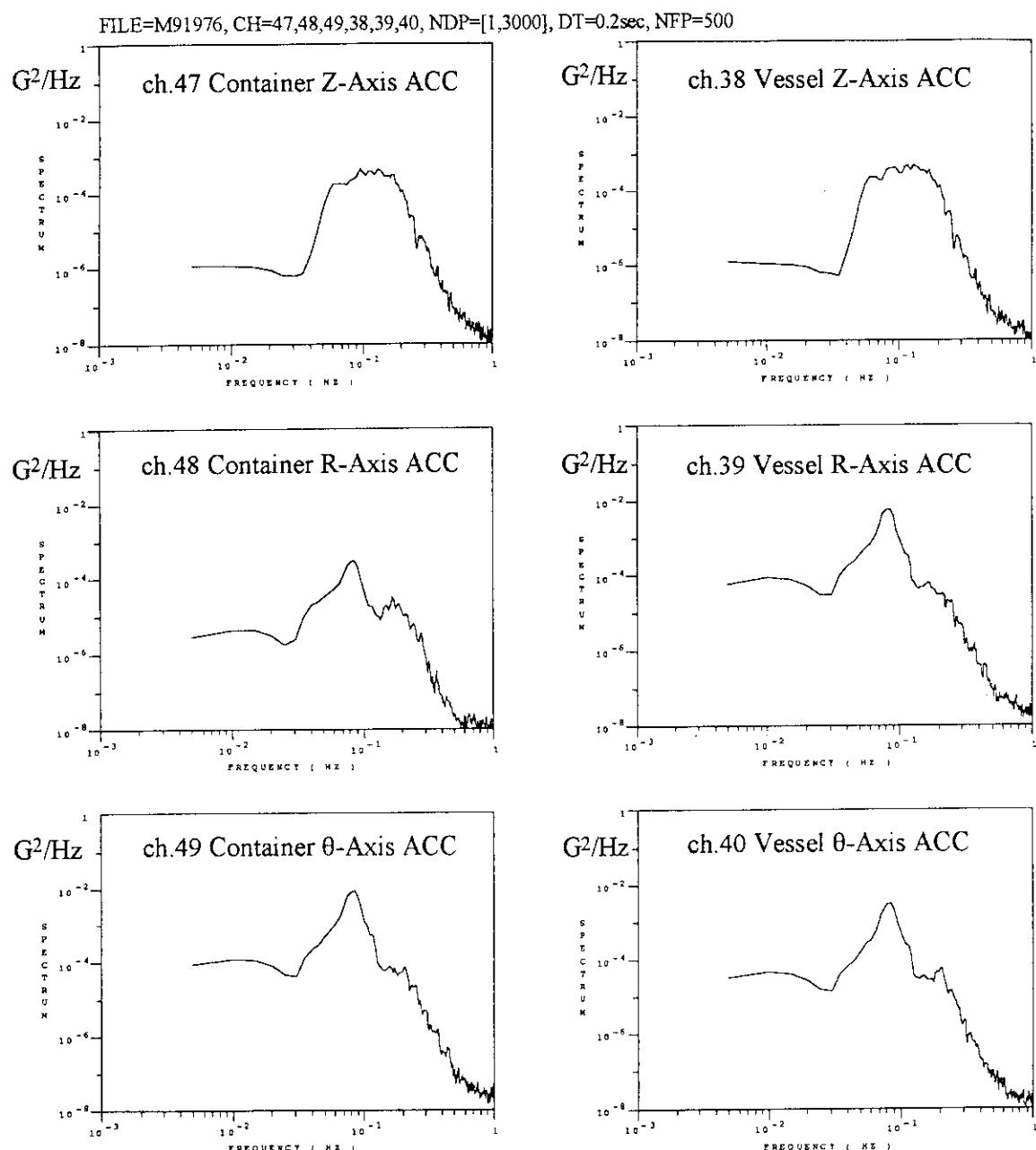


Fig.5.11(k) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その11)

FILE=M91976, CH=41,42,43,44,45,46, NDP=[1,3000], DT=0.2sec, NFP=500

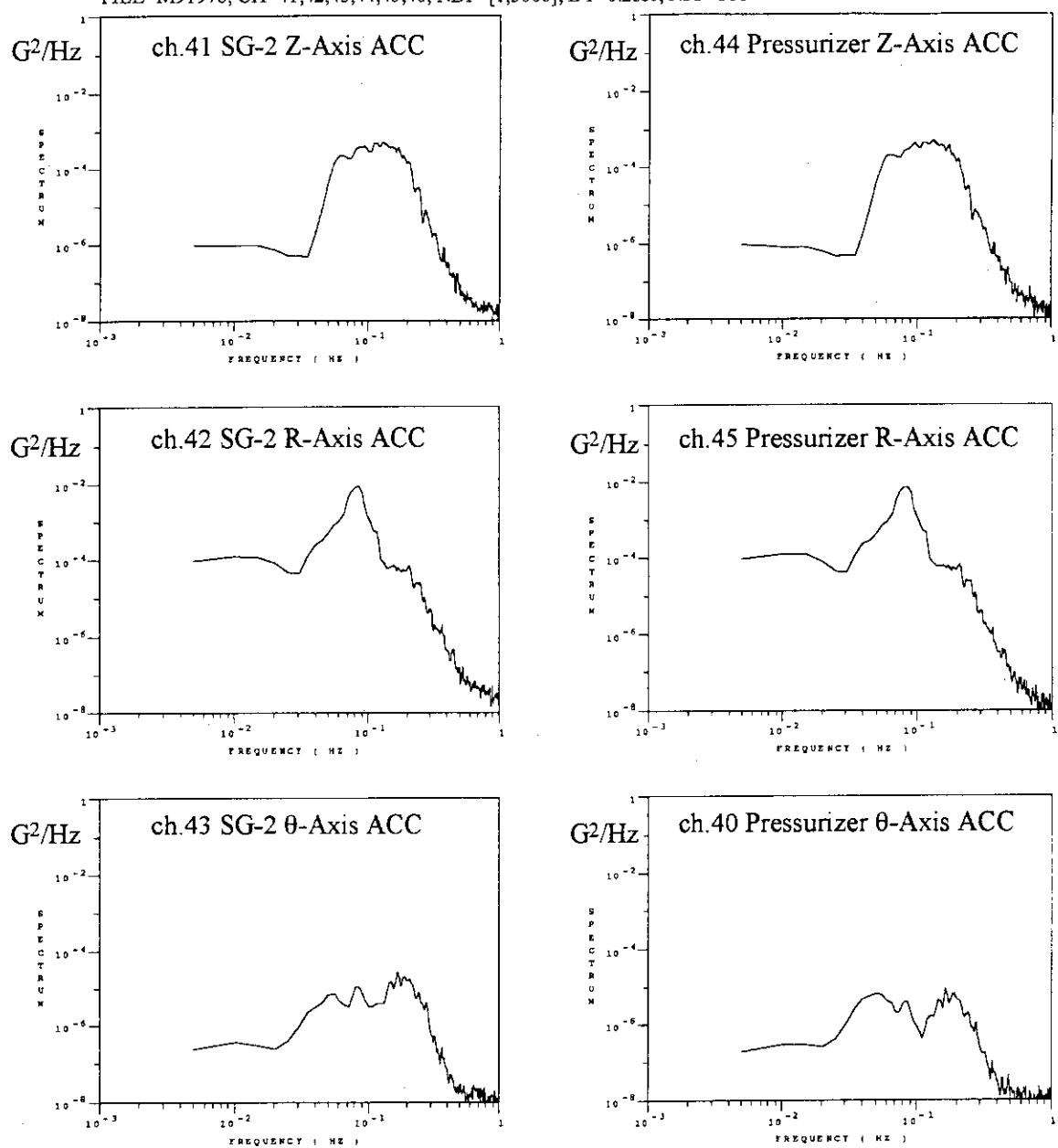


Fig.5.11(l) 第3回雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)のパワー・スペクトル(その12)

6. 実験の考察

第3回実験は、海象条件を除き、同一実験航海で実施した第2回実験と同様に実施要領書通りに行うことができ、動特性解析に十分使用できるデータが収録できた。ここでは、前章の信号波形図、スペクトル解析結果や過去2回の実験結果との簡単な比較を通じて、第3回実験に関する若干の考察を行うとともに、海象条件、データ収録系、収録信号の問題点について述べる。なお、原子炉プラント動特性や波浪・船体運動・船体振動等の解析は後続の報告書に改めて述べることにする。

6.1 第3回反応度外乱実験

6.1.1 制御棒位置信号

第3回反応度外乱実験は、第2回と全く同じM系列信号を用いて、同じ方法により制御棒を操作した。すなわち、M系列信号を入力するために2本駆動モードにより制御棒グループNo.2の制御棒(Rod-3, Rod-4)を2本同時に操作した。

実験時の4つの制御棒位置信号ならびにグループNo.2の和信号(Rod-3+4)のA C信号波形およびD C信号波形はそれぞれFig. 5.1(b)とFig. 5.2(b)に示す通りである。制御棒の操作量は、第1回実験では1本駆動モードで1操作4secに設定したが、第2回、第3回実験では、2本駆動モードで1操作3secに設定されている。この時の制御棒駆動距離は1本当り4mm、2本合計8mmが期待される。第3回実験の結果は、第2回実験と全く同じで、1本当り3mm弱、2本合計約5~6mmとなり、期待値に比べて数mm小さかったことが分る。

また、制御棒位置信号No.3とNo.4のD C信号波形Fig. 5.2(b)には、第2回実験と同様に若干のトレンド成分が見られた。トレンドはNo.3が操作開始時596mmから終了時562mmと約4mm下降し、No.4は操作開始時592mmから終了時587mmと約5mm下降した。第1回実験ではこのようなトレンド誤差は生じておらず、第2回実験のトレンド(下降幅は約3mm)に比べてやや大きくなつた。トレンドの原因は制御棒駆動機構のギアあるいはチェーンのバックラッシュによる誤差ならびにそれらの蓄積(系統誤差の蓄積)と考えられる。トレンド誤差は、約30minの操作時間に対して平均5mm程度であるので、動特性解析には全く影響を与えない。

各制御棒位置信号のA C信号のパワースペクトル(A P S D)はFig. 5.9(b)に示す通りであるが、さらに、Fig. 6.1(a)にグループNo.2の和信号(Rod-3+4)のA P S Dに関しての第1回~第3回実験の比較を示す。第2回と第3回のスペクトル・パターンはほぼ完全に一致することから、同一のM系列信号を用いて実験が行われ、しかも正確に操作されたことが分る。

また、Fig. 6.1(b)にグループNo.2の和信号(Rod-3+4)のA P S Dに関して第3回反応度外乱実験時と人工的外乱を印加しない自然雑音時の比較を示す。両A P S Dの差の部分が正味の外乱入力に相当し、0.1Hz以下で最大約40dB(100倍)の信号成分を入力したことが分る。

6.1.2 反応度信号

反応度信号(反応度計出力信号)のA C、D C両信号波形はFig. 5.1(a)とFig. 5.2(a)に示す通

りである。

制御棒駆動距離から計算した反応度変化は、炉心中心付近の制御棒価値を4.75pcm/mmとした場合、駆動距離期待値8mmに対して最大38pcm、また駆動距離観測値6mmに対して最大28.5pcmである。これに対して、反応度計の信号波形で見る正側・負側のピーク値合計は約20pcm(±10pcm)、1操作毎の変化分(立上がり幅または立ち下がり幅)の平均値は10pcmで、Table 6.1に示すように、第2回実験の結果の半分程度であり、第1回の結果をやや下回る大きさとなった。

Table 6.1 反応度外乱実験(第1回～第3回)における反応度変動の比較

	第1回実験	第2回実験	第3回実験
炉出力定常値	70 %	50 %	70%
制御棒定常位置	598 mm	566 mm	596/592mm
制御棒駆動距離(測定値)	5 mm	5~6 mm	5~6 mm
反応度計算値(期待駆動距離) (実測駆動距離)	- 23.75(5mm)	38.0(8mm) 28.5(6mm)	38.0(8mm) 28.5(6mm)
反応度計(最大ピーク合計) (1操作毎の変化平均)	25 pcm 15 pcm	44 pcm 25 pcm	20 pcm 10 pcm

反応度信号のAC信号のAPS DはFig. 5.9(a)に示す通りであるが、さらに、他の実験と比較した結果をFig. 6.1(a)に示す。第3回実験の反応度AC信号のパワー・レベルはいずれの実験と比べても低いことが分る。しかしながら、次節で述べるように第3回実験における炉出力変動は、定常出力条件と同じ(70%)第1回実験の結果と比べても、やや大きいものが得られていることから、この原因は反応度計の誤差によるものと考えられる。

6.1.3 炉出力変動

炉出力信号は4つの中性子検出器(NI-7, 8, 9, 10)と平均出力信号(Average)の計5変数を測定している。各信号のACおよびDC信号波形はFig. 5.1(a)とFig. 5.2(a)に示す通りである。炉出力変動(低周波トレンドを除いたピーク値)は、第1回実験では3.6%(±1.8%)、第2回では約4%(±2%)であったが、今実験ではさらに僅かに大きく約4.5%(±2.2%)となった。

各炉出力信号のAC信号のAPS DはFig. 5.9(a)に示す通りである。Fig. 6.1(a)に他の実験と比較した炉出力信号のAPS Dを示す。各スペクトル・パターンは第2回実験のものとほとんど同じであるが、変動幅はそれをさらに上回っていることが分る。またFig. 6.1(b)に自然雑音時との比較を示す。両スペクトルの差の成分が、外乱により励起された成分である。外乱により最大約40dB(100倍)程度炉出力変動成分が増大したことが分る。

6.2 第3回負荷外乱実験

6.2.1 インプット・スピンドル・リフト信号と蒸気流量信号

主機蒸気流量調整弁の開閉はインプット・スピンドル・リフトにより遠隔操作される。インプット・スピンドル・リフトの操作量は、第1回、第2回実験と同様、炉出力が操作後十分時間が経過した整定値で±5%変化する量に設定した。炉出力の定常値は第1回実験と同じ70%である。操作範囲は、他の実験と同様に、炉出力定常値の-5%および+5%変化させるハンドル位置を下限上限としている。M系列信号の仕様は第2回実験と同じである。

実験では、開閉操作は1回毎に最大10secで打ち切られるのに対して制御器の動作時間は無視できない程大きいため、操作信号波形は本来の矩形波ではなく台形波状となり、特にピット単位で変動する部分は三角波状となる。このため、蒸気流量や炉出力の実際の変動平均値は操作範囲の目標値±5%を下回る。

第3回実験におけるインプット・スピンドル・リフト(ISL)ならびに2ループ(SG-1, SG-2)の蒸気流量のAC, DC両信号波形はFig.5.3(e)とFig.5.4(e)に示す通りである。M系列操作信号の振幅値(インプット・スピンドル・リフトの操作範囲)は、第1回実験と同じ約1V(±0.5V)である。これに対して、蒸気流量変動(ピーク値)は、Table 6.2に示すように、今実験では2ループ合計で5.5t/h(全流量61.2t/hの9%)となり、炉出力レベルと操作範囲が同一の第1回実験の6.0t/h(9.8%)と比べるとやや減少したことが分る。この原因は現時点では定かではなく、その原因究明には詳細な解析を待つ必要がある。

Table 6.2 負荷外乱実験(第1回～第3回)における蒸気流量と炉出力の変動の比較

	第1回実験	第2回実験	第3回実験
炉出力の定常値	70 %	50%	70%
蒸気流量の定常値	41.5t/h	29.0t/h	41.5t/h
操作量 (対炉出力)	ISL位置(7.4-8.4) 10%(±5%)	ISL位置(5.45-6.9) 10%(±5%)	ISL位置(7.4-8.4) 10%(±5%)
蒸気流量変動(%) (対全流量)	6.0t/h 9.8%(±4.9%)	5.0t/h 8.0%(±4.0%)	5.5t/h 9.0%(±4.5%)
動作時間	0.98%/sec	0.80%/sec	0.90%/sec
炉出力変化(%)	5.5% ±2.75% (APRM)	5.0% ±2.5% (APRM)	5.0% ±2.5% (APRM)

各信号のAC信号のAPS DはFig.5.10(e)に示されているが、さらに、Fig.6.2(a)にインプット・スピンドル・リフト信号とSG-1蒸気流量信号のAPS Dに関して他の実験と比較した結果を示す。インプット・スピンドル・リフト信号のパワー・レベルは第1回実験とほぼ同じであるが、SG-1蒸気流量信号はやや低いのが分る。Fig.6.2(b)は自然雑音との比較を示している。インプット・スピンドル・リフト信号では最大約40dB(100倍)の外乱が印加されている。

るが、SG-1蒸気流量信号では最大約28dB(25倍)の変動となっていることが分る。

6.2.2 炉出力変動

負荷外乱実験の炉出力信号のACおよびDC信号波形はFig.5.3(a)とFig.5.4(a)に示されている。炉出力変動のピーク値は平均出力5.5%($\pm 2.5\%$)となり、第2回実験とほぼ同じで、第1回実験の5.5%に比べると10%の減少となった。

この時のAC信号のAPS DはFig.5.10(a)に示す通りである。また、Fig.6.2(a)に平均出力信号について過去2回の実験におけるAPS Dとの比較を示す。スペクトルから求めた低周波トレンド成分を含む変動平均値は、第1回実験7.0%(パワー・レベル $50\%^2/\text{Hz}$ の平方根)に対して、第2回実験ならびに今実験は4.6%(同 $21.5\%^2/\text{Hz}$)と、第1回実験と比較すると35%程度小さい。この理由の1つは、第1回実験の場合は、反応度外乱と負荷外乱いずれの場合も中性子検出器の2つのグループ(NI-7, NI-10)と(NI-8, NI-9)で位相の異なる低周波トレンドが見られたためである。この低周波トレンドは、第2回実験では現れず、今実験でも現れなかった。

Fig.6.2(b)に炉出力変動(NI-7)の負荷外乱実験時と自然雑音時の比較を示す。第3回負荷外乱の効果は、第3回反応度外乱に比べるとやや小さいが、最大約25dB(約20倍)程度の成分の増大をもたらしていることが分る。

6.3 波浪の影響

波浪、船体運動のプラント動特性に対する影響の詳細な解析については、後続の報告書で改めて評価する予定であるが、ここでは、実験時の海象条件について考察しておく。

実験実施要領書に記載した海象条件はあくまでも目標であり、事前にこれを満足できるように航行海域を選ぶことはできるが、気象、海象は偶然が支配していること、また限られた実験日程の中では好条件を漫然と待つ訳にはいかないことなどから、實際にはどのような海象に出会うことができるかは運次第である。この意味で、第3回実験の海象条件が他の2回の実験と比較してどのようなものであったかをここで評価しておく必要がある。

Table 6.3に第1回から第3回の実験当日の航行条件と海象条件の比較を示す。第3回実験の目標は「通常海域」であったが、実験日の海象は、通常海域の定義(p.11の表参照：有義波高2m以上という条件)は満たせなかった。しかし、うねり波高はこれまでの実験よりも高めであり、もう少しで通常海域になる程度であった。一方、波浪の船体運動への影響因子は波高と波周期であるが、波浪の影響は船体の速度(速さと進行方向)と相対関係にあるため、船体の向きを変えることにより、相対的に波の周期(出会い波周期)を変えることができる。そこで、第3回実験では、針路を追い波(波の進行方向と同じ方向)として出会い波周期を約12~15secとして、第1回の時の5sec(0.2Hz)よりも長くした。これにより、船体振動の周波数を0.08~0.06Hz付近にもっていき、プラント動特性に重要な低周波域に影響ができるようにした。

Fig.6.3に、船首レーダ波高信号、3つの船体運動信号(ロール角、ピッチ角、ヨウ角)、それに原子炉プラントの格納容器の加速度信号(Z方向、R方向、θ方向)の7信号のAPS Dに関して、これまでの3回の実験の比較結果を示す。

これによると、第3回実験におけるレーダ波高信号のA P S Dのピーク値は過去最大の値(0.05Hz[周期20sec]付近で25m²/Hz)を記録し、第3回実験の波浪が第1回、2回よりも大きかったことを意味している。ちなみに、A P S Dのピーク値の平方根は5.0mであることから、第3回実験時には周期20sec、スペクトル平均最大波高(片振幅で定義される)2.5mの波浪が支配的であったことが分る。スペクトル平均最大波高の他の実験との比較もTable 6.3に示した。

また第3回実験の波浪や船体運動スペクトル・パターンに関しては、第2回とは全く異なるが第1回実験とほぼ同じであり、第3回実験の海象条件は第1回と似ていることが分った。第3回と第1回実験の結果で唯一異なる点は、格納容器のZ軸方向における0.06Hz付近のスペクトル・ピークである。これは出会い周期12~15sec(周波数0.06~0.08Hz)に相当する位置であり、第1回、第2回とも出会い周期5sec(周波数0.2Hz)付近にピークがあることを考えると興味深い結果である。

原子炉プラントに対する波浪の影響は、直接的には原子炉格納容器の加速度信号に現れている。第3回と第1回実験では、0.08Hz付近の成分が支配的であるのに対して、第2回実験では0.18Hzの成分が支配的であるのが分る。

Table 6.3 第1回~第3回実験の航行条件と海象条件

計測日時	第1回実験 91年3月4日 12:10	第2回実験 91年8月30日 13:15	第3回実験 91年9月16日 14:00-17:45
針路	-	140度	250度
回転数	162rpm	127.9rpm	
船速	15.0kt	12.4kt	16.5kt
海域	静穏(Slight)	静穏(Smooth)	静穏(Slight-Smooth)
海水温度	23.3°C	30.3°C	28.6°C
風浪波高	1.0m	0.2m	0.5-0.4m
波向	NE	220度	60-80度
周期	4s	1s	2s
うねり波高	1.0m	0.5m	1.7-1.5m
波向	N	160度	80-85度
周期	6s	6s	8-7s
船首有義波高	1.9m	1.1m	1.9m
スペクトル平均			
最大波高	1.5m	1.0m	2.5m
出会い波周期	-	5s	12.5s

6.4 自然雑音時のプラント信号

第2回および第3回実験では、反応度外乱実験と負荷外乱実験以外に、人工的な外乱が無い自然状態におけるプラント固有の雑音を測定している。外乱入力時と自然雑音時の比較は、先に6.1節と6.2節で若干触れた。ここでは、第2回実験と第3回実験における自然雑音の違いについて若干考察しておく。両者の違いは、主として海象条件と炉出力条件によるものと考えられる。(ちなみに、第2回実験は静穏海域、炉出力50%、また第3回実験は通常海域(に近い静穏海域)、炉出力70%で実施された。)

Fig. 6.4(a), (b)にそれぞれ、第2回と第3回実験における4つの炉出力信号(NI-7～-10)のAPS Dを示す。まず、両者にはパワー・レベルの違いが見られる。第3回が第2回よりも高いが、これは炉出力70%における炉出力のゆらぎが50%時より大きいという事を単に反映しているに過ぎない。問題は、両実験の結果に見られる0.08Hz付近のピーク成分である。第2回実験では余り明確でなかったピークは、第3回実験では顕著になり、特にNI-7とNI-9が大きい。ピーク成分の最大ゆらぎ振幅は0.3%程度である。これらのピーク成分の成因は、単純なスペクトル解析だけでは明らかにできないが、少なくとも検出器の位置に依存しており、出力依存性あるいは船体振動と関連を持つことが示唆される。

Fig. 6.5(a)～(d)に、第2回と第3回実験における炉出力(NI-7)，加圧器圧力，SG-1蒸気流量，SG-1蒸気圧力，SG-1水位，SG-1給水流量のAPS Dの比較を示す。第3回実験の結果は0.08Hz付近でピーク成分をもつ信号が多く見られ、また第2回実験では0.18Hz付近にピーク成分を持つ信号が多く見られる。この事実は、Fig. 6.3に示した波浪、船体運動、原子炉格納容器の加速度信号などの解析結果、特に原子炉格納容器の加速度信号に見られた支配的振動成分の周波数と符丁することから、プラント雑音と波浪との関連性の意味で興味深いものがある。これらピーク成分は、反応度外乱実験や負荷外乱実験時の信号にも含まれているが、炉出力信号などの場合には強力な外乱成分によりマスクされていると考えられる。

6.5 データ収録系の問題

6.5.1 ハイパス・フィルタによるAC信号波形の変形

AC信号収録系においては、DC成分をキャンセルするため遮断周波数0.01Hzのハイパス・フィルタに相当する雑音分離器を使用しているが、過渡応答特性が良くないため遮断周波数附近で数dBのゲイン増加がある。このため、DC信号とAC信号の信号のピーク・レベルは異なる場合がある。この影響は、第1回実験と同様に、反応度外乱実験ではほとんど問題にならないが、負荷外乱実験では主だった2次系の変数全てに見られるので解析には注意する必要がある。

6.5.2 スパイク雑音による信号レベルの跳躍

信号にスパイク状の雑音が重畠し信号のDCレベルが跳躍したものが、幾つかのAC信号チャンネルで見られた(Table 6.4 参照)。これらの信号波形と推定したスパイク雑音波形をファイル別にFig. 6.6～Fig. 6.9に示す。前章の信号波形およびAPS Dはこれらをディジタル演算で補正したものを示してある。

信号レベルの跳躍は雑音分離器とAD-4の間で起きているが、その原因は跳躍幅から見て雑音

分離器内部のAD変換器(12bit)の最小ビットの誤動作にあるようである。反応度外乱や負荷外乱実験時には各チャネルの信号レベルが比較的大きく、また後段の増幅器のゲインが小さいこともあり、信号レベルの跳躍は起きないかあるいは無視できる程のレベルにあり、頻度も少ない。これに対して自然雑音の測定では信号レベルが小さいため、跳躍現象が頻繁に起きていることが分る。例えば、Fig. 6.9(a)の制御棒No. 3では、ほとんど連続的に起きているが、推定したスパイク雑音を見てみると、その振幅は正弦波状に変化していることが分る。いずれにしても、信号のゆらぎ成分の振幅に比べてスパイク雑音が大きい場合には、うまく補正することが可能である。しかし、無信号時のインプット・スピンドル・シフト信号(例えばFig. 5.5(e))は明らかに信号跳躍が見られるが、跳躍レベルが小さいため補正できなかった。

Table 6.4 信号レベルの跳躍が見られたA C信号一覧

AD-4 ch.	変数名	実験名				
		反応度外乱	負荷外乱	自然雑音		
				(高速)	(中速)	(低速)
		M91971	M91973	M91975	M91976	M91977
1	高圧1段圧力				×	×
10	制御棒No. 1				×	×
11	制御棒No. 2	×				
12	制御棒No. 3			×	×	×
15	S G-2蒸気圧力			×		
21	インプット・スピンドル・リフト	▲		▲	▲	▲
22	加圧器圧力				×	×

(注)▲は補正できなかった信号

6.6 収録信号の問題

6.6.1 S G-2給水流量

収録信号のうち、A C信号のS G-2の給水流量信号(AD-4のch. 30)は信号波形の下側が飽和している。これは第2回実験の報告にも述べたが、この飽和はA C信号に限り見られ、データ収録系の入力前に生じたものであり、S G-2の給水流量のセンサ部分に問題があったと考えられる。今後、この信号を用いた解析には注意を要する。

6.6.2 水平面前後(Surge)加速度信号

船体加速度信号のうち、A C信号の水平面前後(Surge)加速度(AD-4, ch. 37)は、第1回実験では他と異なる波形とスペクトル・パターンを持っていたが、第2回実験以降では左右(Sway)加速度と全く同じ信号波形とスペクトル・パターンになってしまった。これは第2回実験の報告にも述べたが、データ・ファイルの読み取りに誤りはないことから、原因は第1回実験(第1次実験航海)以降、第2回実験が開始された第3次実験航海までの間に、センサ信号ケーブ

ルの取り外し再接続作業があり、この時に誤りを生じたものと考えられる。今後、この信号を用いた解析には注意を要する。

6.7 実験の総合評価

第3回反応度外乱実験および第3回負荷外乱実験は次のように評価できる。

6.7.1 外乱印加実験

第3回実験は第2回実験と同じ実験航海で同一の要領書に基づき連続して行ったため、実験方法に関する新たな知見はないが、印加外乱の大きさについては次のように結論できる。

- 1) 反応度外乱実験(炉出力70%)では、平均制御棒駆動距離は2本合計で約6mmとなり、この時の炉出力変動は4.5%(APRMピーク値)、また平均印加反応度は20pcmであった。これらを過去2回の実験と比較すると、第1回は炉出力70%時に約5mm(1本駆動モード)で3.6%、第2回は50%時に約6mm(2本駆動モード)で4.0%であったことから、第3回実験では制御棒駆動距離は第2回実験と同程度であるが、やや大きい炉出力変動が得られたことが分る。平均印加反応度は第1回14.7pcm、第2回24.7pcmであり、これに比べると第3回はやや小さいが、これは反応度計の誤差が大きく出たものと考えられる。
 - 2) 負荷外乱実験では、主機操縦弁の操作範囲を過去2回の実験と同様に対炉出力±5%(駆動時間を無視した整定値)に設定し操作した結果、蒸気流量の変化幅は9.0%(対全流量)、炉出力変動は5.0%となった。過去2回の実験のうち第1回実験は、炉出力レベルと操作範囲が同じ条件の実験であったが、その蒸気流量変動は9.8%、炉出力変動5.5%であり、今実験の結果はこれに比べるとやや小さくなつた。この理由は現時点では不明である。
- いずれにしても、反応度外乱実験ならびに負荷外乱実験共にはほぼ予定通りの大きさの外乱を印加でき、十分に励起されたプラント変数が測定できた。

6.7.2 海象条件

第3回実験の海象条件に関しては、「通常海域」を目標としていたが、通常海域の定義である有義波高2.0m以上という条件を満たせなかった。しかし、有義波高は目視観測によるもので誤差は大きいこと、有義波高の値も1.9mと境界値の2mに近いこと、船首レーダ波高のスペクトル解析による平均最大波高は2.5mであり優に2mを越えていること、これまでの実験で最大の波高値であることなどを考慮すると、ほぼ目的を達しているものと考えられる。

ただし、波浪、船体運動などの関連信号の解析の結果、第3回実験の海象条件は第1回実験とかなり近いものであることが分った。また、第2回実験の海象条件は平均的に見ると他と比べて穏やかではあるが、他の海象条件と同様に、特定の周波数点で比較的顕著な周波数成分をもつことも分った。

6.7.3 自然雑音の測定

今実験では、第2回実験に統いて、外乱実験と同一の海象・プラント条件下での自然雑音の測定を実施した。これにより、人工外乱の効果に関する客観的評価が可能になると同時に、異なる海象条件下での測定データの解析比較を通じて、プラント変数に及ぼす波浪の影響が評価できるようになった。

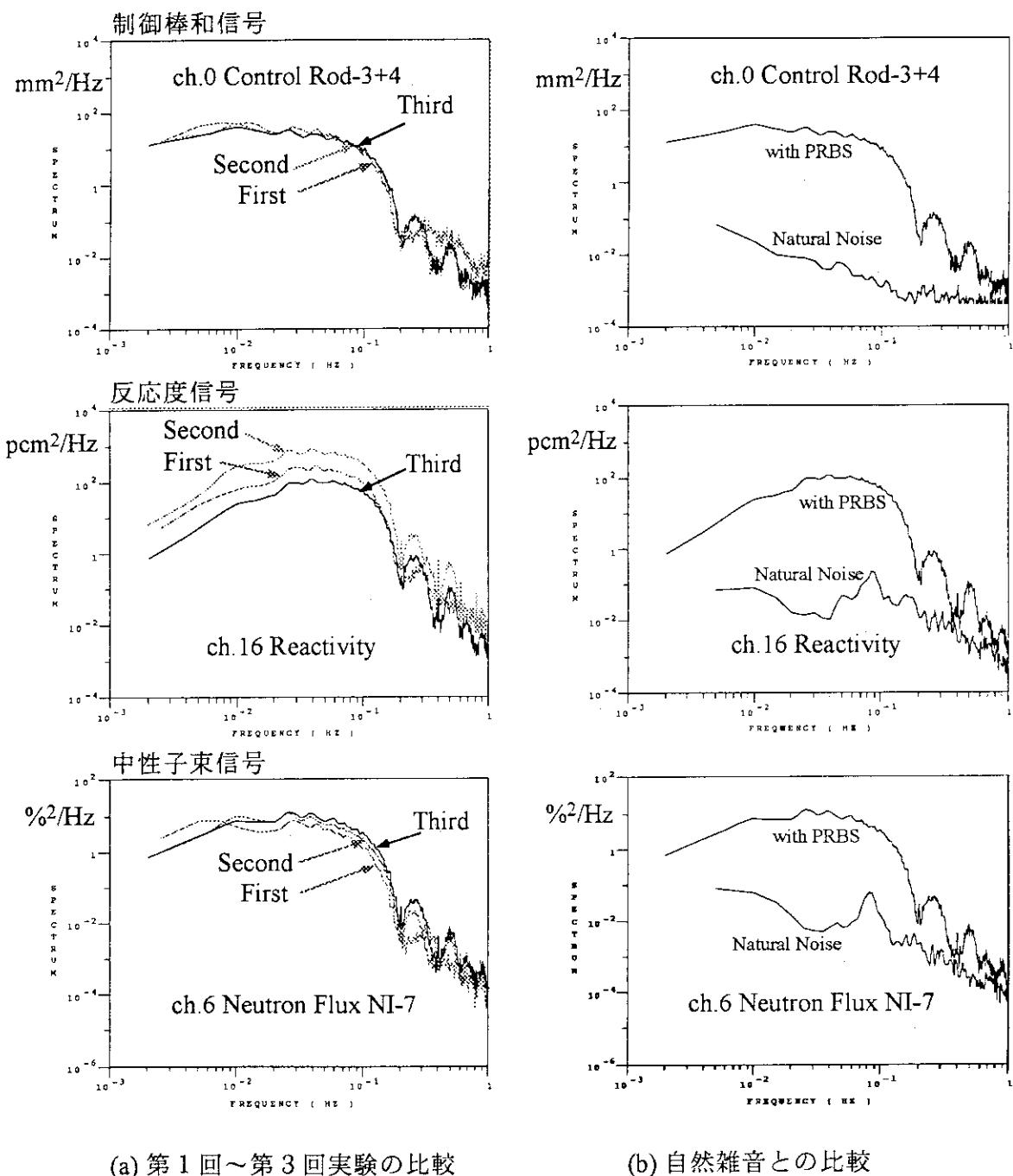


Fig.6.1 反応度外乱実験のAPSDの比較

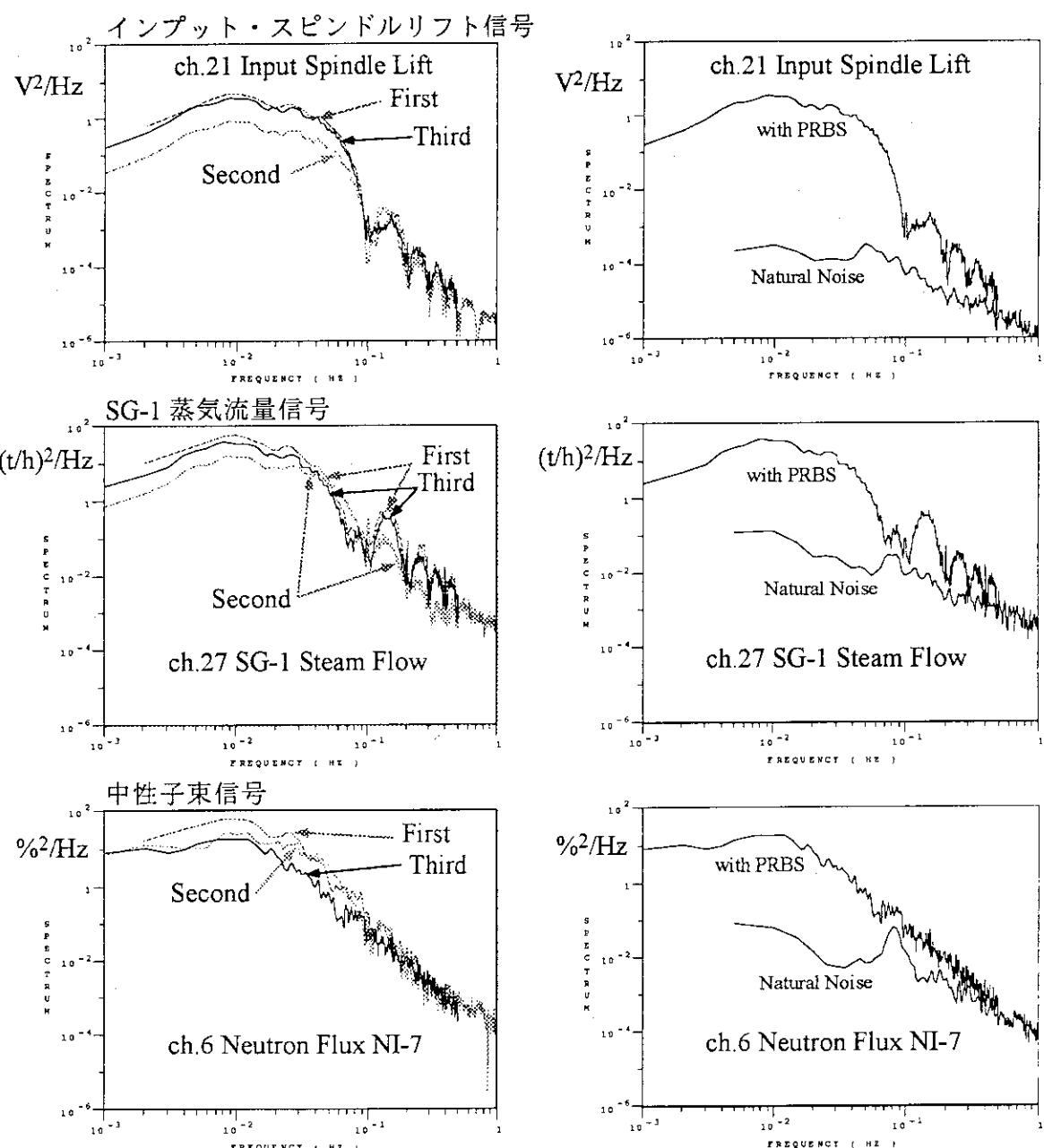


Fig.6.2 負荷外乱実験のAPSDの比較

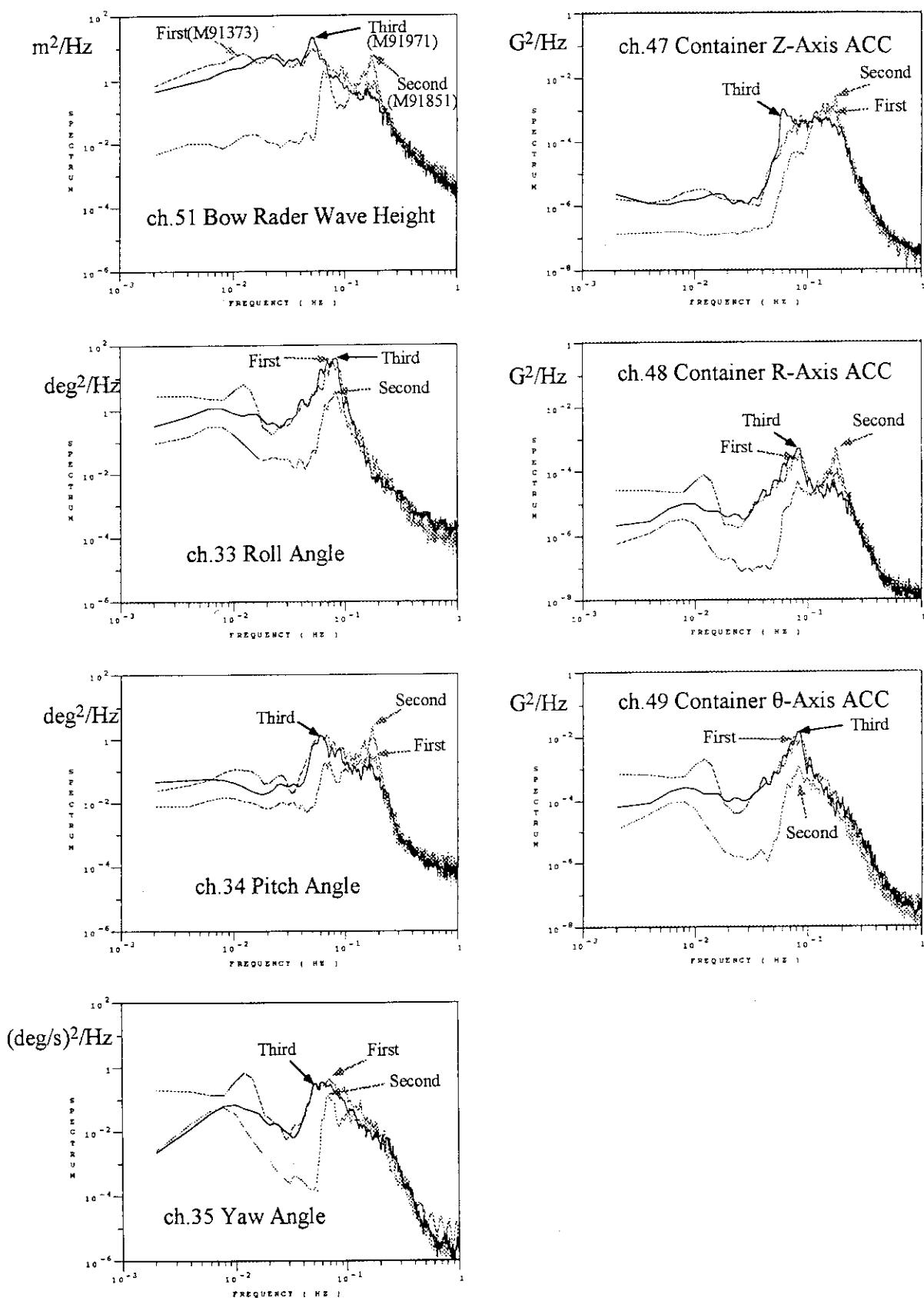


Fig.6.3 波浪、船体運動、原子炉格納容器加速度信号のAPSDの比較
(第1回～第3回実験)

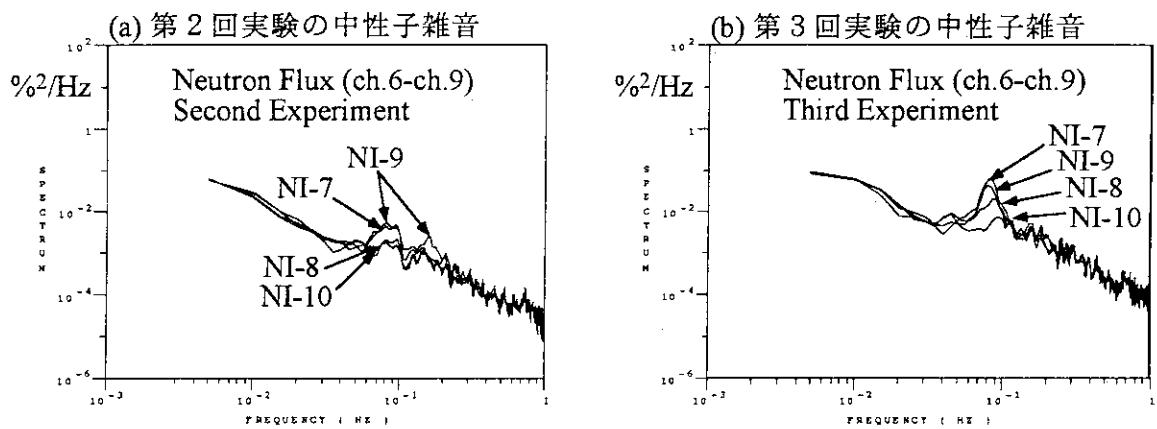


Fig.6.4 自然雑音時の4つの中性子束信号のAPSDの比較(第2回と第3回実験)

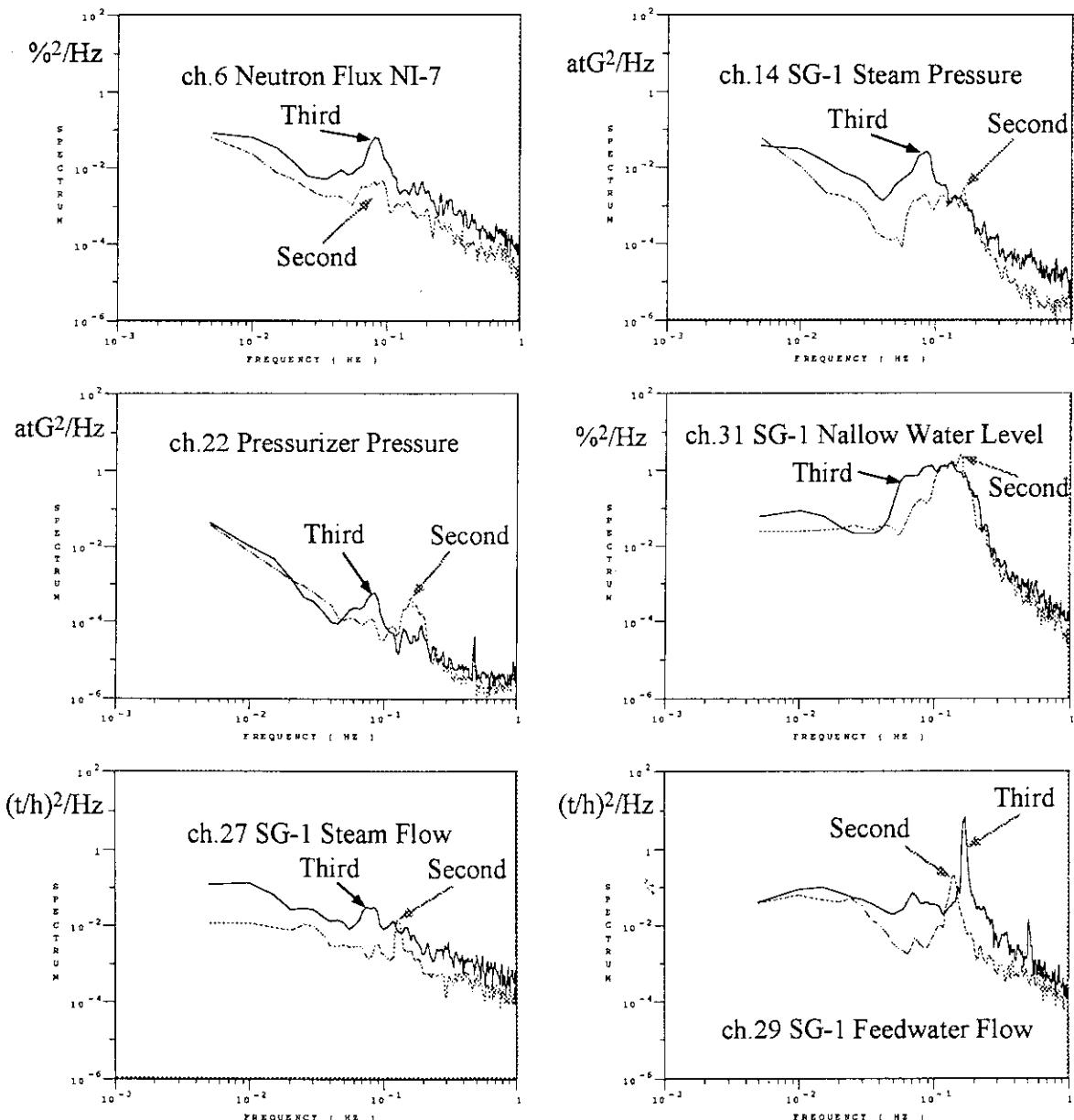


Fig.6.5 自然雑音のAPSDの比較(第2回と第3回実験)

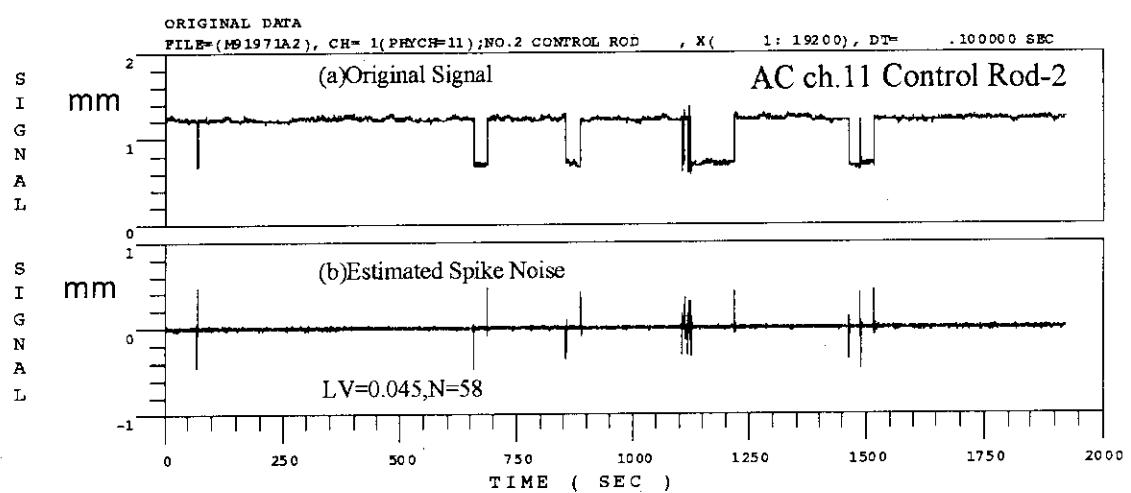


Fig.6.6 第3回反応度外乱実験のAC信号に見られる信号レベル跳躍
と推定したスパイク雑音

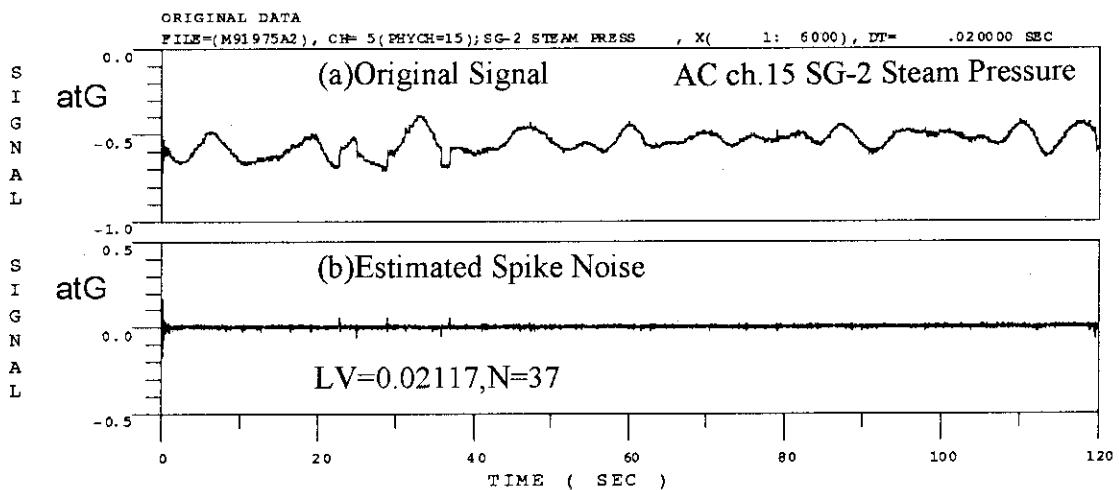
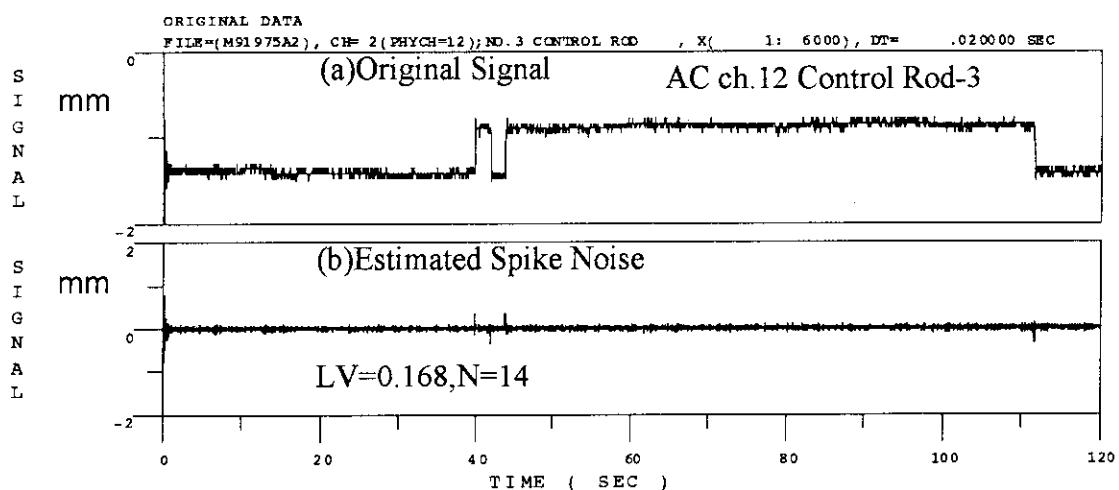


Fig.6.7 第3回自然雑音測定実験のAC信号(高速サンプル)に見られる
信号レベル跳躍と推定したスパイク雑音

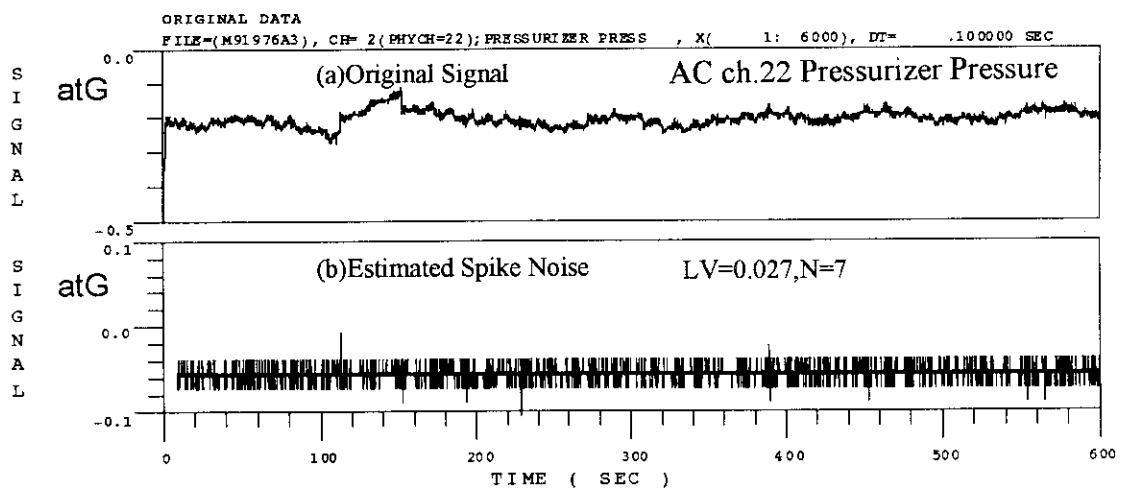
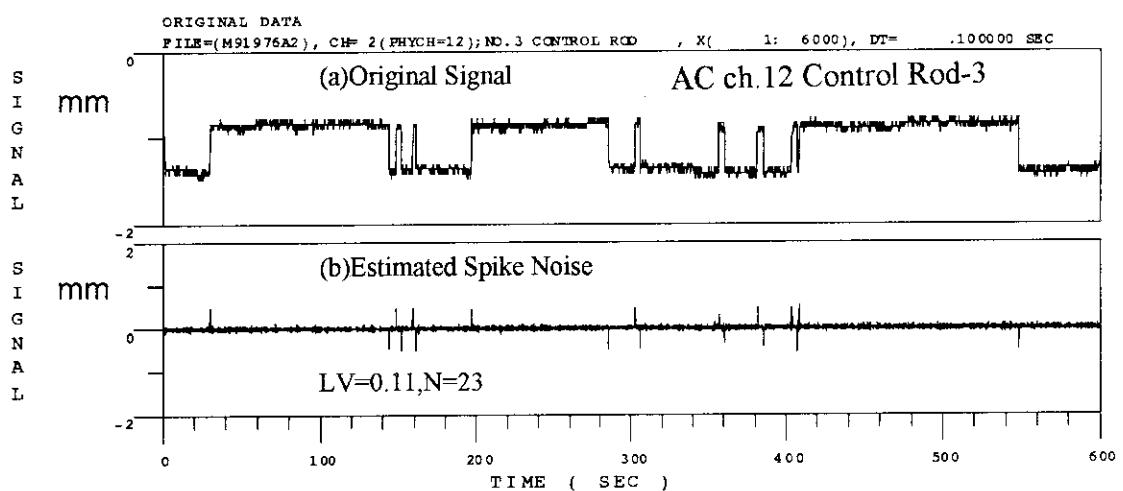
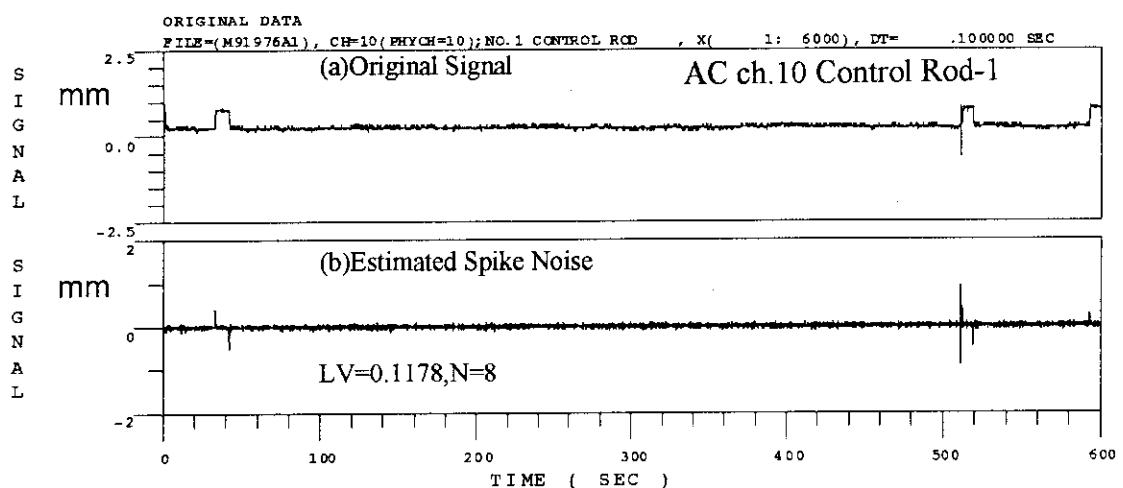


Fig.6.8(a) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)に見られる
信号レベル跳躍と推定したスパイク雑音(その1)

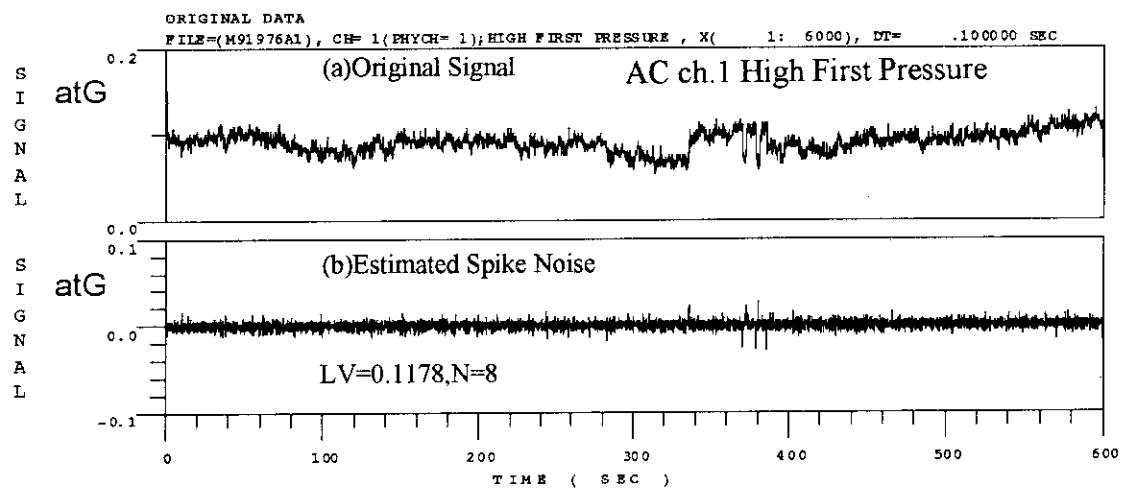


Fig.6.8(b) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)に見られる
信号レベル跳躍と推定したスパイク雑音(その2)

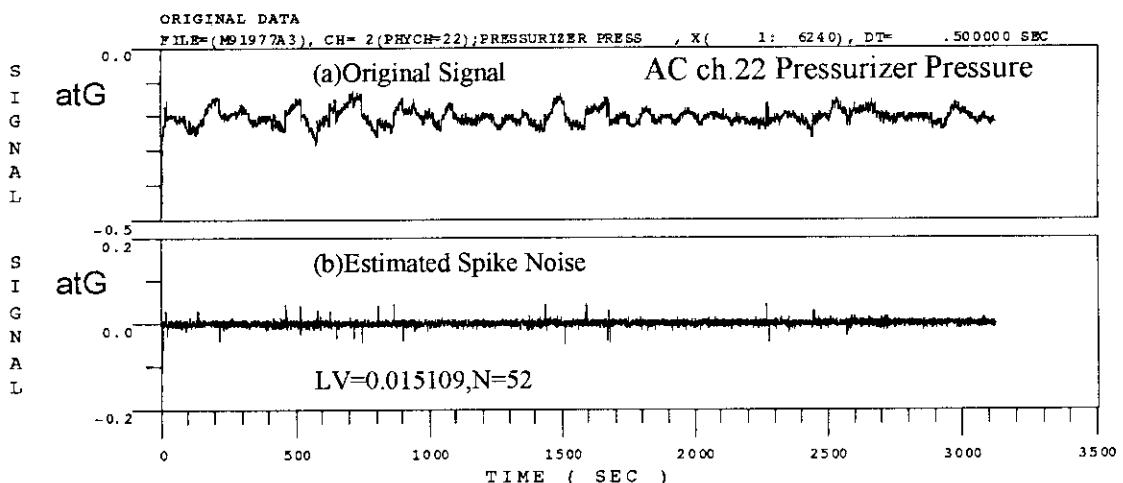
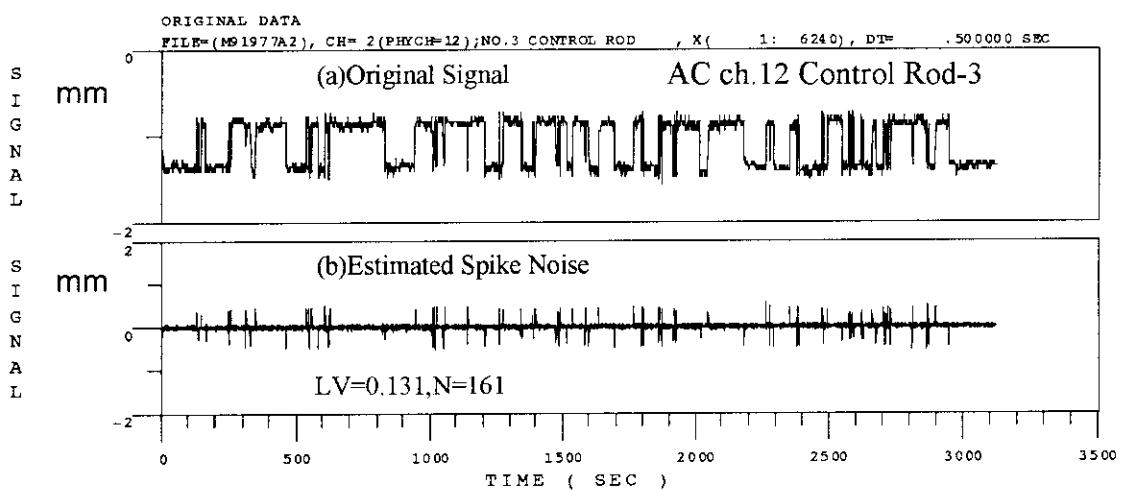
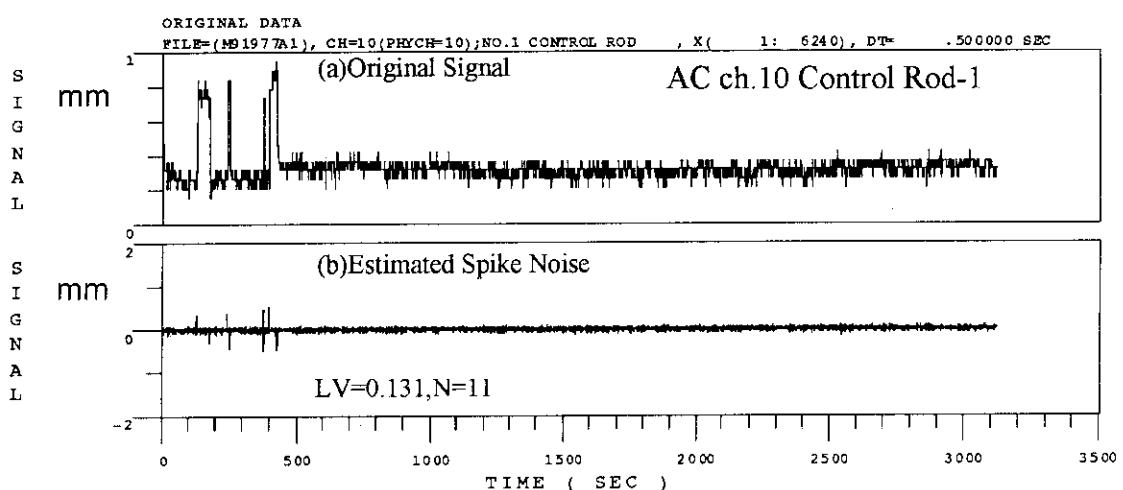


Fig.6.9(a) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)に見られる
信号レベル跳躍と推定したスパイク雑音(その1)

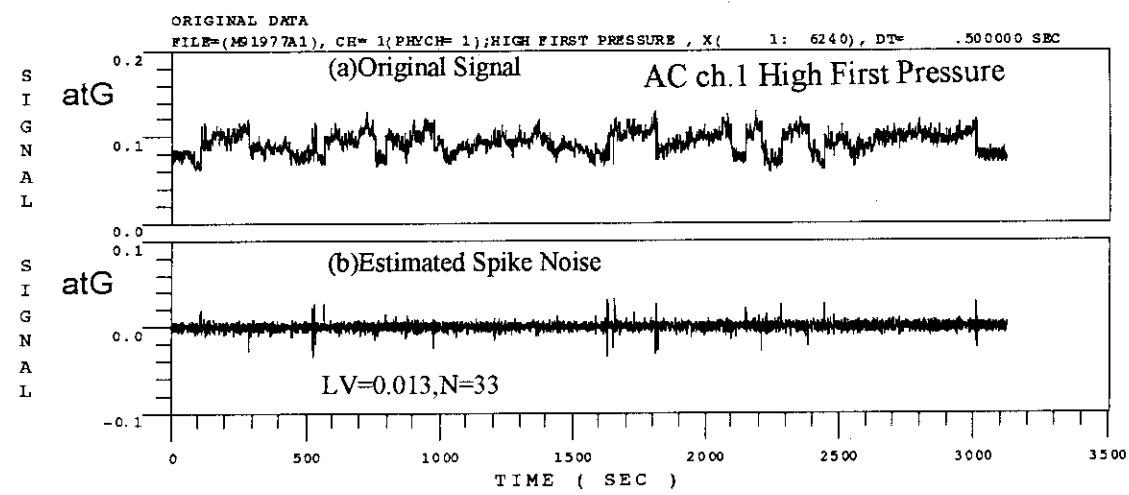


Fig.6.9(b) 第3回自然雑音測定実験のAC信号(中速サンプル)に見られる
信号レベル跳躍と推定したスパイク雑音(その2)

7. おわりに

原子力船「むつ」の原子炉プラント動特性を評価する目的で疑似不規則2値信号を用いた動特性同定実験を計画し、第1次実験航海中の1991年3月4日に実施した第1回実験、第3次実験航海中の1991年8月30日に実施した第2回実験に引き続き、同じ航海の9月16日に第3回実験を実施した。

第3回実験は、第1回、第2回実験と異なる海象・炉出力条件下のデータ測定を目的に、炉出力70%，通常海域のプラント運転条件下で、制御棒、主機操縦弁の疑似不規則操作による反応度外乱および負荷外乱を印加し、各種プラント信号応答や船体加速度信号を測定した。実験は計画通り実施でき、プラント動特性同定に必要な十分励起されたプラント応答信号を収録できた。また、海象条件に関しては、過去2回の静穏海域での測定に比べてより波高の高い通常海域を狙い、過去2回の実験と比べて最も大きい波高を観測し、ほぼ目的を達成した。

さらに、第2回実験に引き続き、外乱実験後、外乱印加時との比較を目的とした自然状態下でのプラント雑音信号を測定した。これにより人工外乱の効果を客観的に評価できる同時に、異なる海象条件下でのプラント自然雑音データが得られ、プラント動特性に及ぼす波浪の影響の評価が可能な測定データが得られた。

プラント動特性、プラント動特性に及ぼす波浪の影響等の解析結果については、後続の報告書にまとめることとする予定である。

謝辞

実験の遂行に当たり、疑似不規則外乱印加実験に理解を示し種々の協力を惜しまなかった「むつ」本船の渡辺機関長(当時)、ならびに疑似不規則外乱の手動操作入力に際して練習を重ねて実験を成功に導いた「むつ」運転班(当時)の各位に謝意を表します。また、実験実施に当たり協力を頂いた原子力船試験課の各位に感謝します。最後に、疑似不規則外乱印加実験を計画するに当たり、種々の検討を戴いた日本原子力研究所の船用炉研究委員会動特性専門部会の委員の方々に謝意を表します。

7. おわりに

原子力船「むつ」の原子炉プラント動特性を評価する目的で疑似不規則2値信号を用いた動特性同定実験を計画し、第1次実験航海中の1991年3月4日に実施した第1回実験、第3次実験航海中の1991年8月30日に実施した第2回実験に引き続き、同じ航海の9月16日に第3回実験を実施した。

第3回実験は、第1回、第2回実験と異なる海象・炉出力条件下のデータ測定を目的に、炉出力70%，通常海域のプラント運転条件下で、制御棒、主機操縦弁の疑似不規則操作による反応度外乱および負荷外乱を印加し、各種プラント信号応答や船体加速度信号を測定した。実験は計画通り実施でき、プラント動特性同定に必要な十分励起されたプラント応答信号を収録できた。また、海象条件に関しては、過去2回の静穏海域での測定に比べてより波高の高い通常海域を狙い、過去2回の実験と比べて最も大きい波高を観測し、ほぼ目的を達成した。

さらに、第2回実験に引き続き、外乱実験後、外乱印加時との比較を目的とした自然状態下でのプラント雑音信号を測定した。これにより人工外乱の効果を客観的に評価できる同時に、異なる海象条件下でのプラント自然雑音データが得られ、プラント動特性に及ぼす波浪の影響の評価が可能な測定データが得られた。

プラント動特性、プラント動特性に及ぼす波浪の影響等の解析結果については、後続の報告書にまとめることとする予定である。

謝辞

実験の遂行に当たり、疑似不規則外乱印加実験に理解を示し種々の協力を惜しまなかった「むつ」本船の渡辺機関長(当時)、ならびに疑似不規則外乱の手動操作入力に際して練習を重ねて実験を成功に導いた「むつ」運転班(当時)の各位に謝意を表します。また、実験実施に当たり協力を頂いた原子力船試験課の各位に感謝します。最後に、疑似不規則外乱印加実験を計画するに当たり、種々の検討を戴いた日本原子力研究所の船用炉研究委員会動特性専門部会の委員の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 林 光二, 島崎潤也, 鍋島邦彦, 篠原慶邦, 井上公夫, 落合政昭, 疑似不規則信号を用いた原子力船「むつ」動特性同定実験(Ⅰ) - 第1回実験 -, JAERI-M 93-194, 1993.
- 2) 林 光二, 島崎潤也, 鍋島邦彦, 篠原慶邦, 井上公夫, 落合政昭, 疑似不規則信号を用いた原子力船「むつ」動特性同定実験(Ⅱ) - 第2回実験 -, JAERI Research 95-004, 1995.
- 3) 日本原子力研究所原子力船計画部, 原子力船研究開発の現状 1992, 日本原子力研究所, 1992.
- 4) Ball, R. M. and Batch, M. L., "Measurement of Noise in Three Pressurized-Water Reactors", Uhrig, R. E. (Ed.), "Noise Analysis in Nuclear Systems", TID 7679 pp. 387-403, 1964.
- 5) Kolb, M., "Rauschanalytische Identifikation des Systems See/Schiff/Reaktor am Beispiel der "OTTO HANN", kest berichte Nr. 31, Verlag Karl Thieme, Munchen, 1983.
- 6) 北村正晴, 松原邦彦, 尾熊律雄 : J P D R - II の動特性同定実験 - 自己回帰モデリングの適用 -, JAERI-M 7580 (1978年3月)

付録. 用語解説

1. 海洋波

海洋波(Sea Wave, 波浪)は、一般に風浪(Wind Wave)とうねり(Swell)の成分に分けられるが、両者は混在している。

風浪：風波とも呼ばれる。大気の擾乱によって生じた風が海面に働き続けることにより生じる波。次項に述べるうねりと比べると波長が短く、不規則性が強い。

うねり：長波頂海面(long-crested sea)とも呼ばれる。大気の擾乱の影響が去った後の海面の状態に相当し、風浪の短波長成分が減衰し、風浪生成時に支配的であった風向に沿って進む長波長成分だけが残る。うねりは、波頂が線状に無限に長く伸びた波が互いに不規則な間隔を保ったまま並行に進行する状態である。したがって、うねりがある海域で再び大気の擾乱が起きた場合には両者が混在し、支配的な風向(風浪の向き)とうねりの向きは異なる。

統計的な観点からは、風浪(特に暴風域の波)の波高変化は非定常で、測定位置と時間の両パラメータに依存する確率過程となる。一方、うねりの波高変化は測定位置に関わらず時間だけに依存した確率過程で表される。

2. 有義波高

波浪は確率過程にしたがうため、波の特性を表すパラメータ(波高、周期、波長など)は確率量であり、その測定には統計平均操作が必要である。これらのパラメータに関する船上での計測は特別な計測器を要しない目視による方法が簡単であるが、複数回の目視測定量から如何に確率的にもっともらしい推定値を得るかが問題となる。その1つに有義値(Significant value)がある。これは複数の観測値の上位1/3の平均値を取る操作である。波高に関しては有義値と測定値に良い相関があることが知られている。

3. 海象状態(波浪の階級)を表す用語

波浪階級	用語		目視波高(m)
0	Calm(glassy)	なめらか(鏡面)	0
1	Calm(rippled)	なめらか(さざ波)	0-0.1
2	Smooth(wavelets)	なめらか(小波)	0.1-0.5
3	Slight	わずか	0.5-1.25
4	Moderate	穏やか	1.25-2.5
5	Rough	荒い	2.5-4.0
6	Very Rough	大変荒い	4.0-6.0
7	High	高い	6.0-9.0
8	Very High	大変高い	9.0-14.0
9	Phenomenal	異常な	14.0以上