

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-496

FJR710ファンジェットエンジンの
インレットディストーション試験(II)
— FJR710/600の試験 —

森田光男・関根静雄・中山普
吉田晃・遠藤征紀・松田幸雄
富家純一郎

1983年3月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

FJR710ファンジェットエンジンの インレットディストーション試験(II)*

— FJR710/600の試験 —

森田光男** 関根静雄** 中山 普**
吉田 晃** 遠藤征紀** 松田幸雄**
富家純一郎***

1. ま え が き

通産省工業技術院の大型工業技術研究開発制度の基に研究開発が進められている「航空機用ジェットエンジンの研究開発」のうち、耐環境性能試験の一環として、インレットディストーション試験を行った。

同題の前報¹⁾でインレットディストーション発生装置の特性並びにFJR710/10、/20がインレットディストーションを受けた場合のエンジン全体性能を示した。その際、FJR710/10より薄型のファン動翼を有するFJR710/20は、インレットディストーションによってファン動翼の振動応力が増加する傾向にあると述べた。

今回、FJR710/20よりなお一層薄型のファン動翼を有するFJR710/600エンジンについて、インレットディストーション試験を実施し、インレットディストーションがエンジン全体性能に及ぼす影響について調べると共に、併せて、ファン動翼振動に与える影響についても調べた。またダイナミックディストーションについても試験を実施した。

本報告は、これらの試験の方法並びに試験結果について述べるものである。尚、本試験は昭和56年6月に実施した。

2. 試 験 装 置

インレットディストーション発生装置及び特性に

* 昭和57年11月15日受付

** 原動機部

*** 川崎重工業株式会社

については前報で詳しく述べたので本報では装置の系統図を図1に示し、試験状況の写真だけを図2に示す。

尚、供試エンジンはFJR710/600-7号機である。

3. 計測及び試験

本試験のエンジン性能計測、インレットディストーションの計測は、エンジン横風試験及び当部で進めているSTOL機のエンジン艤装の研究のために製作したエンジンデータ処理システム²⁾を用いた。本システムのブロック図を図3に示す。

エンジン性能、ファン入口圧力分布等の計測は表1に示す計測点を図4に示す各エンジン位置で行った。これらの計測に用いた計測センサーは前報で使用したものと同一である。

ダイナミックディストーション計測・解析は図5に示す位置の圧力、温度等を高速でA/D変換して取込み、演算した後D/A変換してペン書きレコーダに出力すると共にデータファイルに収めた。

ファン動翼の振動の計測は、従来から行なわれているスリップリングを用いたひずみゲージ方式による振動計測のため、表2に示すファン動翼及び圧縮機静翼にひずみゲージを貼付し、振動応力を計測した。またこれと並行して、エンジン横風試験用に新しく開発した非接触型光センサーによる振動計測装置³⁾を用いて全数のファン動翼の振巾を計測した。ひずみゲージを貼付したファン動翼及び非接触型光センサーの配置図を図6に示す。図中Bのつく数字は翼番号を示し、円外図に示した数字は光センサー番号並びに翼端すきまを示している。この

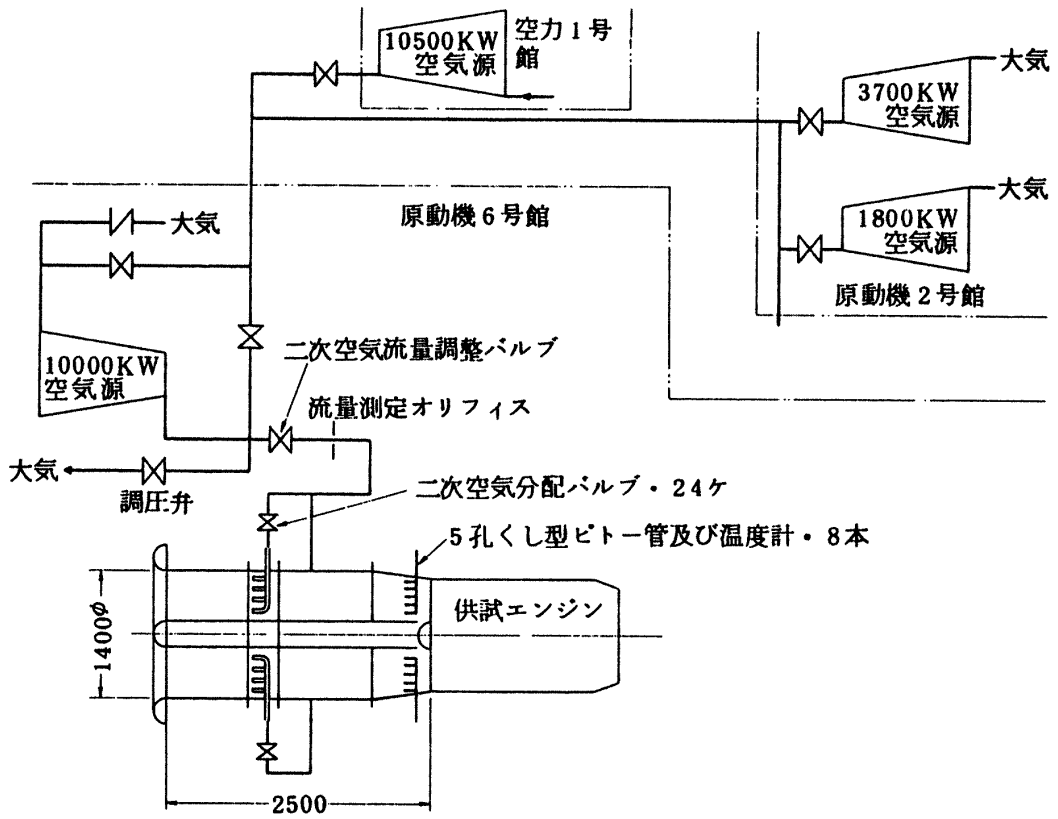


図1 インレットディストーション試験装置系統図

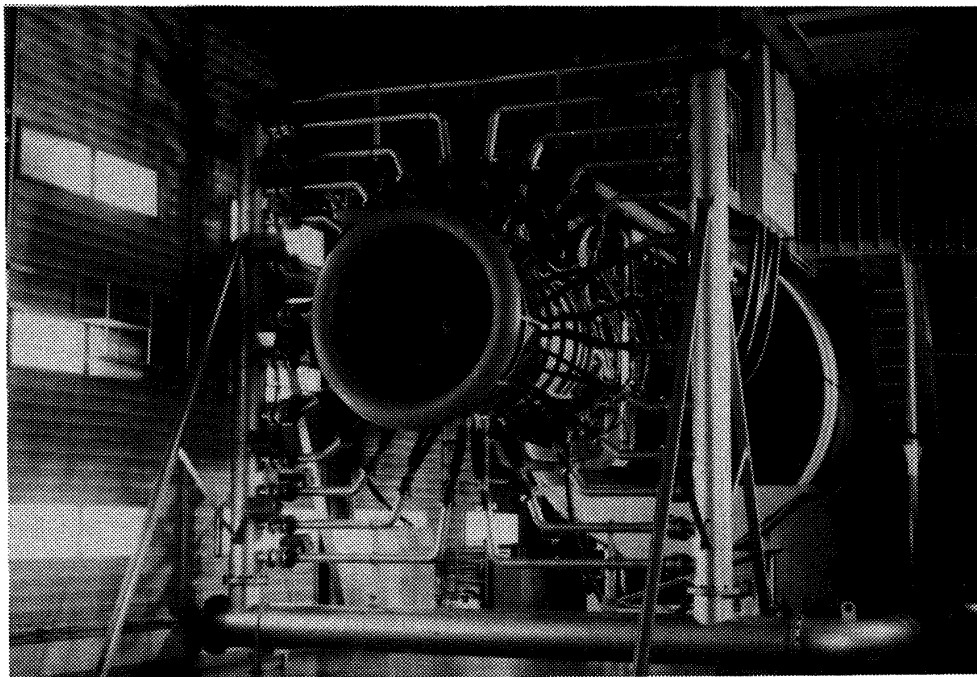


図2 インレットディストーション試験の状況

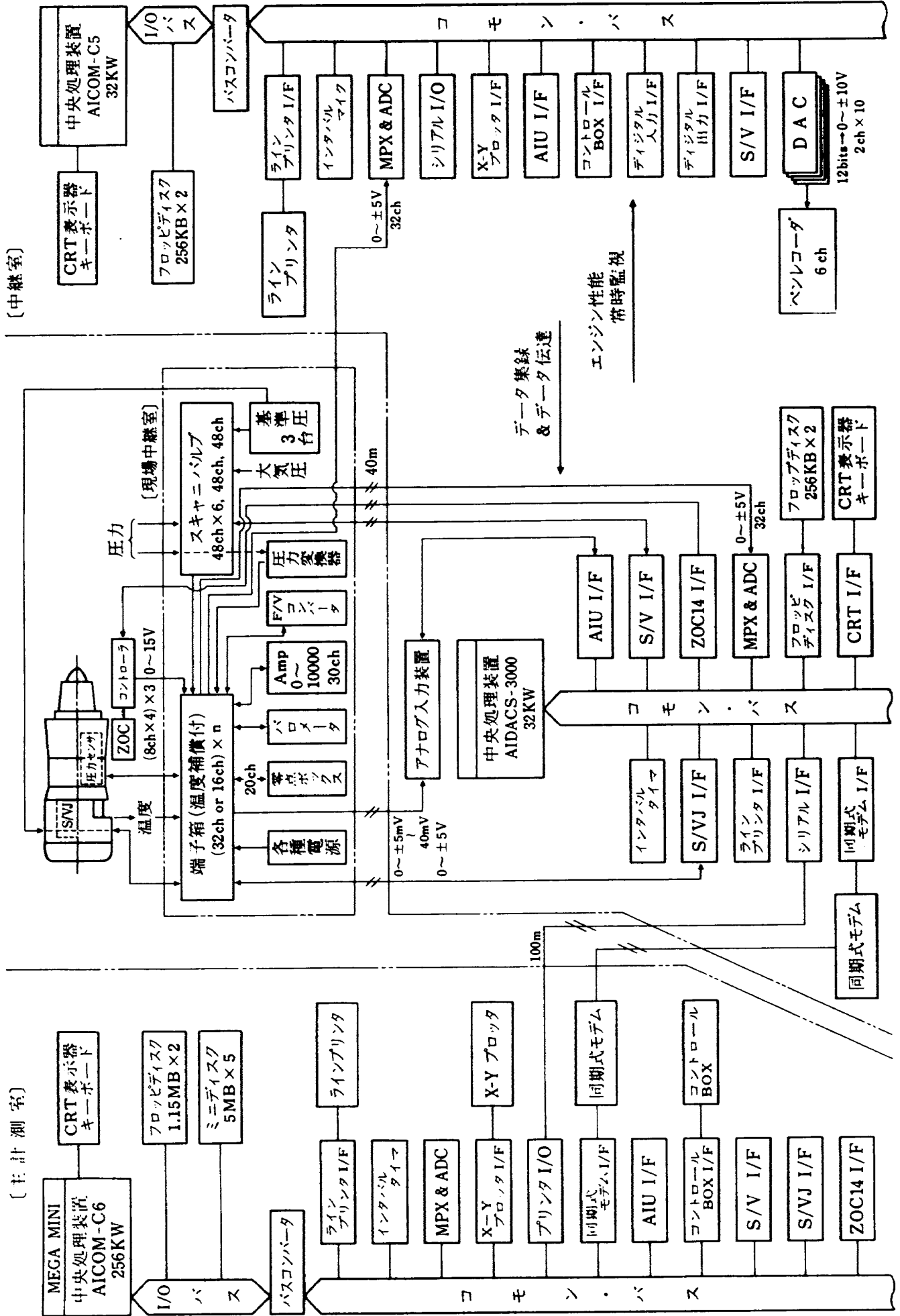


図 3 エンジンデータ処理システム

表1 計測点一覧表

計測項目	記号	点数	径方向 × 周方向	測定 Range	備考	計測項目	記号	点数	径方向 × 周方向	測定 Range	備考
エンジン入口全温	CIT	1				スロットル角度	TLA	1		~100deg	
" 全圧	PAMB	1		大気圧		V S V 角度	VS1	1		~45deg	
ファン入口全温	T2	40	5×8	~50℃		燃料ポンプ入口温度		1		~50℃	
" 全圧	P2	40	5×8	~0.67kg/cm ²		" 入口圧力		1		6.7kg/cm ²	
" 静圧	PS2	40	5×8	~0.67kg/cm ²		" 出口圧力		1		70kg/cm ²	
圧縮機入口全温	T3	(15)	(5×3)	~70℃		滑油ポンプ入口漏度		1		~200℃	
" 全圧	P3	(15)	(5×3)	~1.7kg/cm ²		" 出口圧力		1		6.7kg/cm ²	
" 静圧	PS3	(15)	(5×3)	~1.4kg/cm ²		オイレルレベル		1		22ℓ	
圧縮機出口全温	T4	10	5×2	~500℃		スターティンググロートシンプ出口圧力		1		~400mmHg	
" 全圧	P4	10	5×2	~20kg/cm ²		ファン部外殻振動(垂直)	FV	1			
H.Pタービン出口全温	T6	24	4×6	~950℃		" (水平)	FH	1			
" 全圧	P6	8	4×2	~5kg/cm ²		圧縮機部外殻振動(垂直)	CFV	1			
L.Pタービン出口全温	T7	24	4×6	~700℃		" (水平)	CFH	1			
" 全圧	P7	4	4×1	~1.5kg/cm ²		燃焼器部, 外殻振動(垂直)	CRV	1			
ファン静翼出口全温	T31	(28)	(7×4)	~70℃		" (水平)	CRH	1			
" 全圧	P31	(28)	(7×4)	~1.6kg/cm ²		H.Pタービン部外殻振動(垂直)		1			
バイパスダクト出口全温	T8	4	4×1	~1.7kg/cm ²		" (水平)		1			
" 全圧	P8	8	4×2	~70℃		Distortion air 温度	TDA	2			
推力	FM	1		5000kg		" 流量					
燃料流量	WF	1		2200kg/H		ファン動翼歪み		8計			
CDP(P _{4x} gene入口圧と同じ)	CDP	1		~16kg/cm ²		ブースト段動翼歪み		6計			
P _{4x} gene出口圧力		1		~16kg/cm ²		圧縮機 I G V 歪み		2			
低圧系回転数	N1	1		~6500RPM		圧縮機 5 段静翼歪み		2			
高圧系回転数	N2	1		~14900 RPM		ファン 1 段動翼振動					非接触法

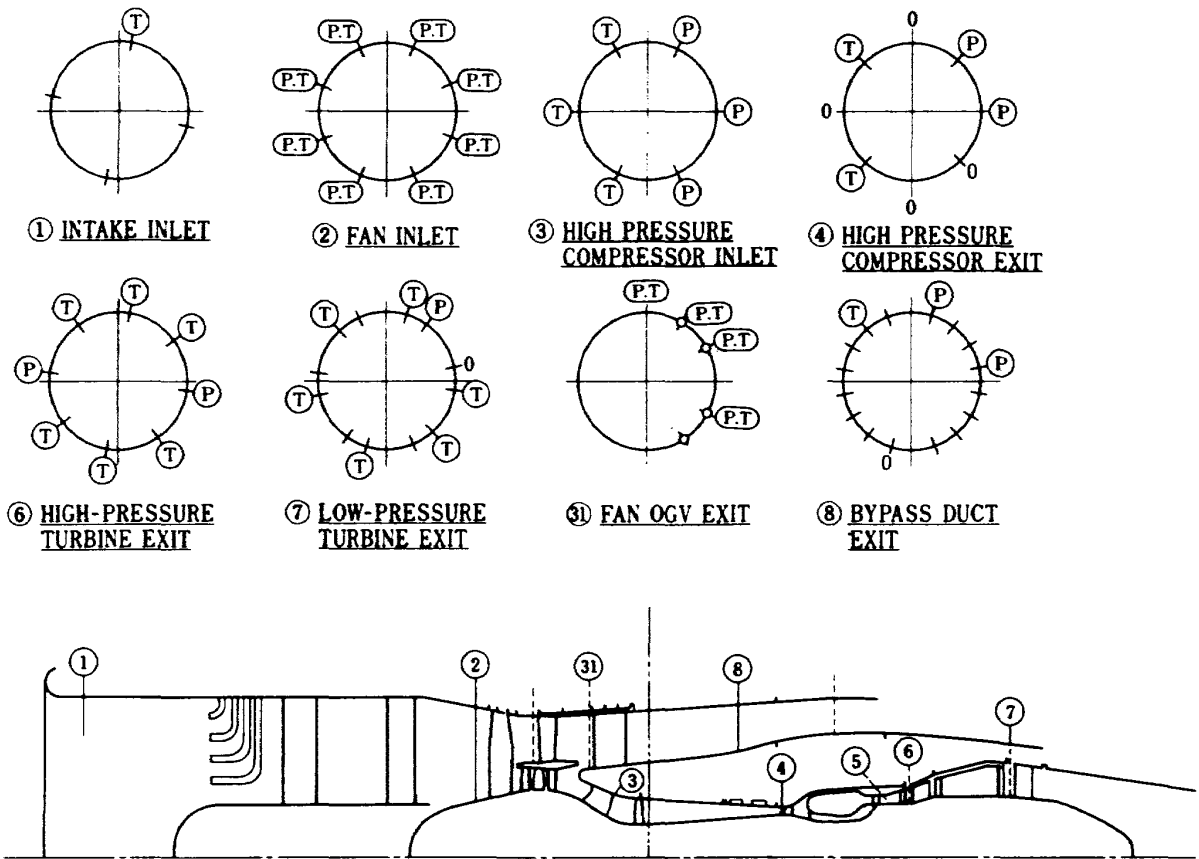


図4 エンジン計測点位置

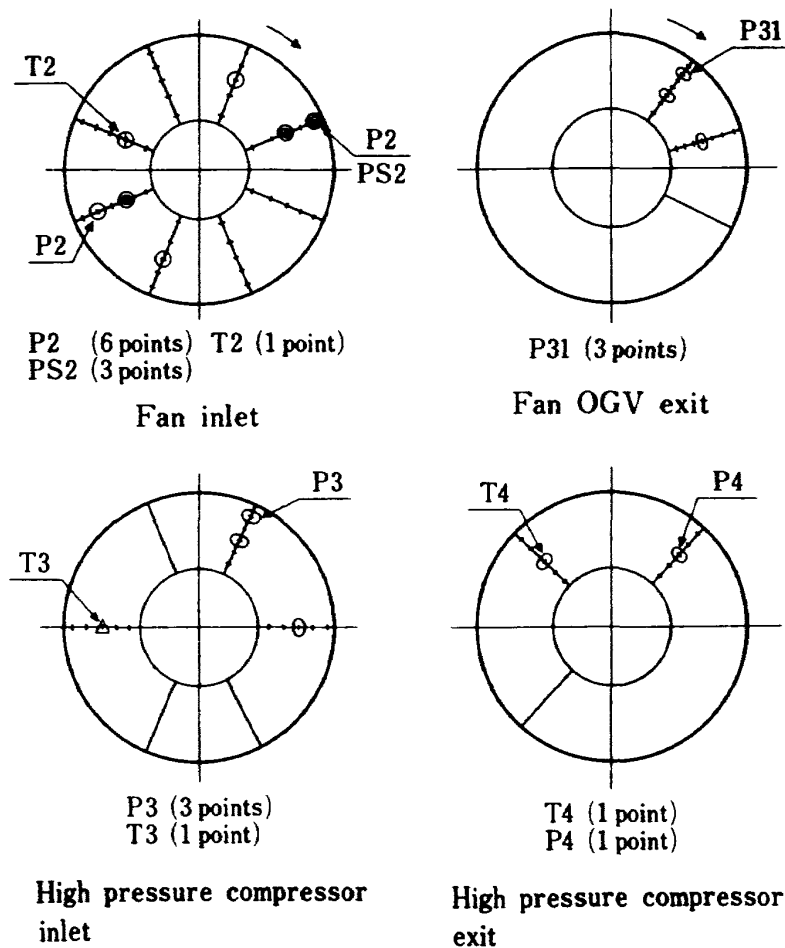


図5 非定常圧力、温度計測位置

表 2 振動計測一覧表

計測位置	計測方法	非接触型光センサ	ひずみゲージ
ファン1段動翼		全翼(33枚)	8点 SN1, SN2 SN5, SN13 SN23, SN33 SN35, SN37
ファン2段動翼			4点
入口案内翼			1点
5段静翼			1点

装置のブロック図を図7に示す。また、これらの各計測装置の系統図を図8に示す。

試験は性能計測試験を含め14ケースに及んでいる。性能計測試験はエンジンレーティングを階段状にセットし、インレットディストーション発生装置なしの場合のエンジン全体性能を計測確認した。

ディストーション試験は図9に示す9種のディストーションパターンについて行った。ディストーションの大きさは、前報同様ディストーションインデックスで5%を標準に、試験ケース13及び14については10%の限度に与えた。

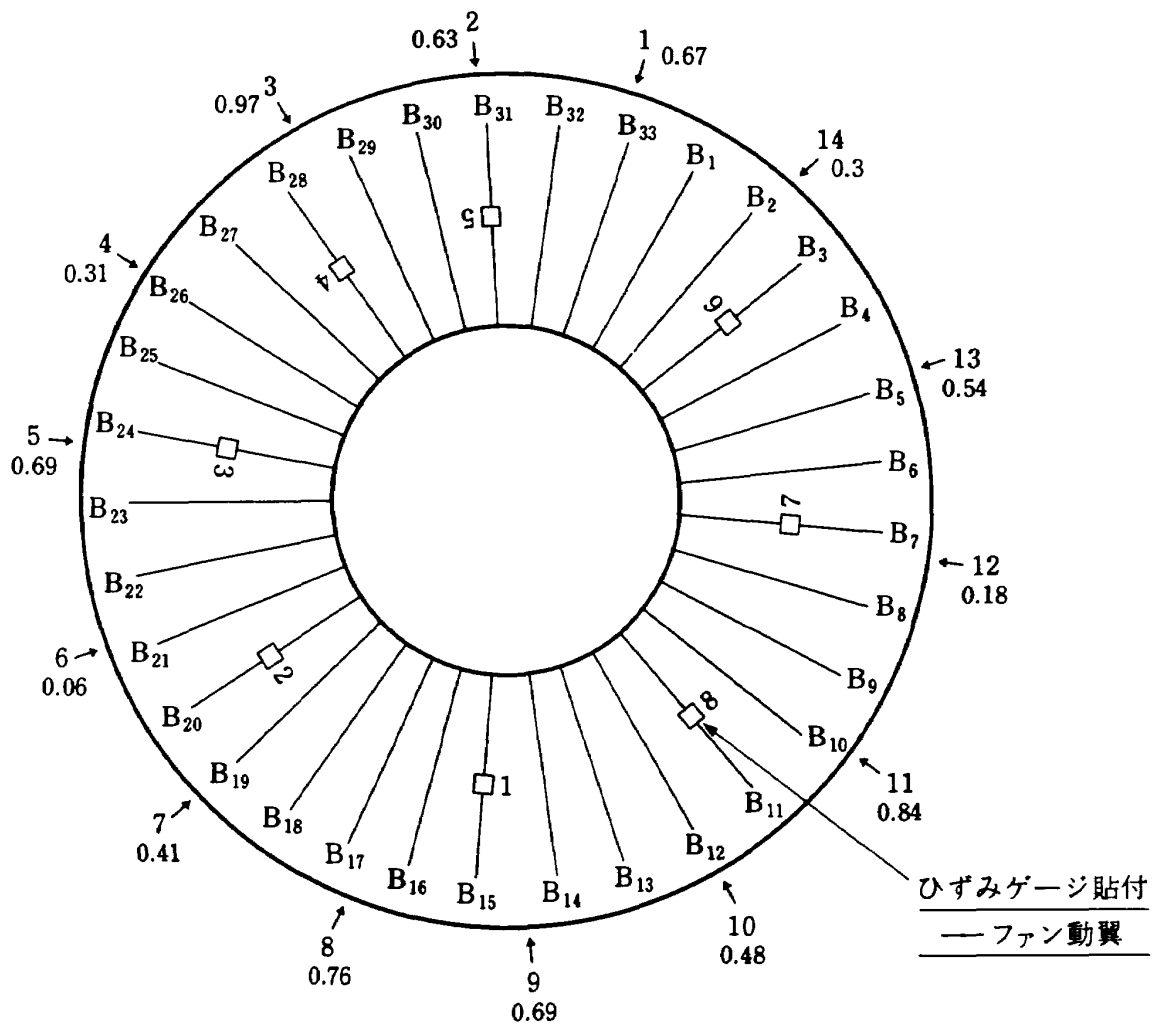


図 6 ひずみゲージ貼付-非接触型光センサー位置

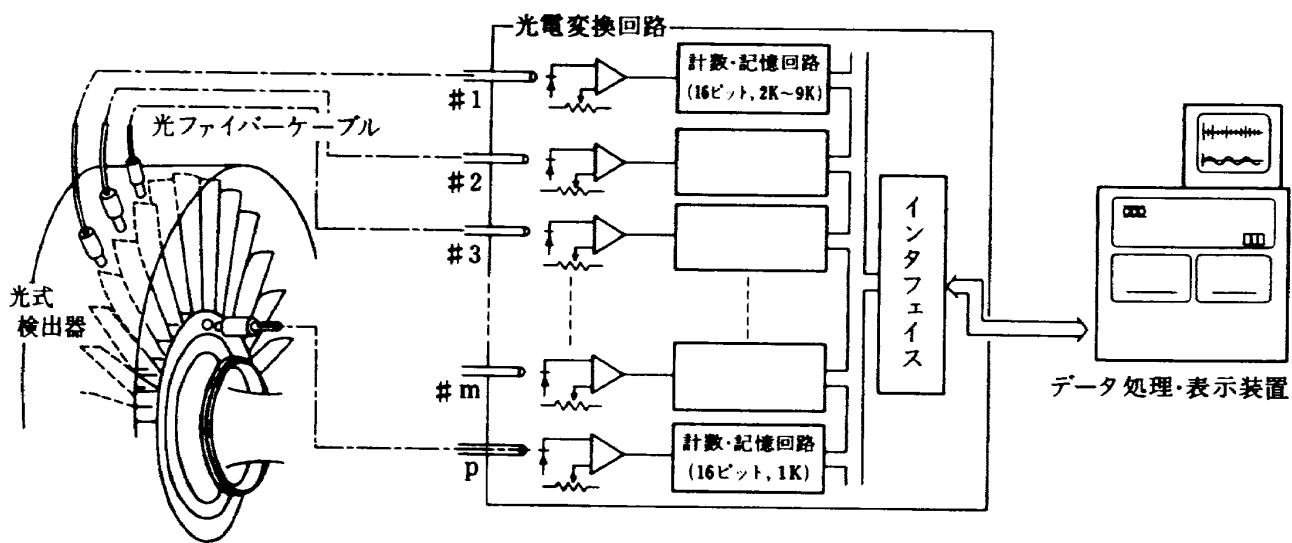


図7 非接触型ファン動翼振動計測装置全体構成

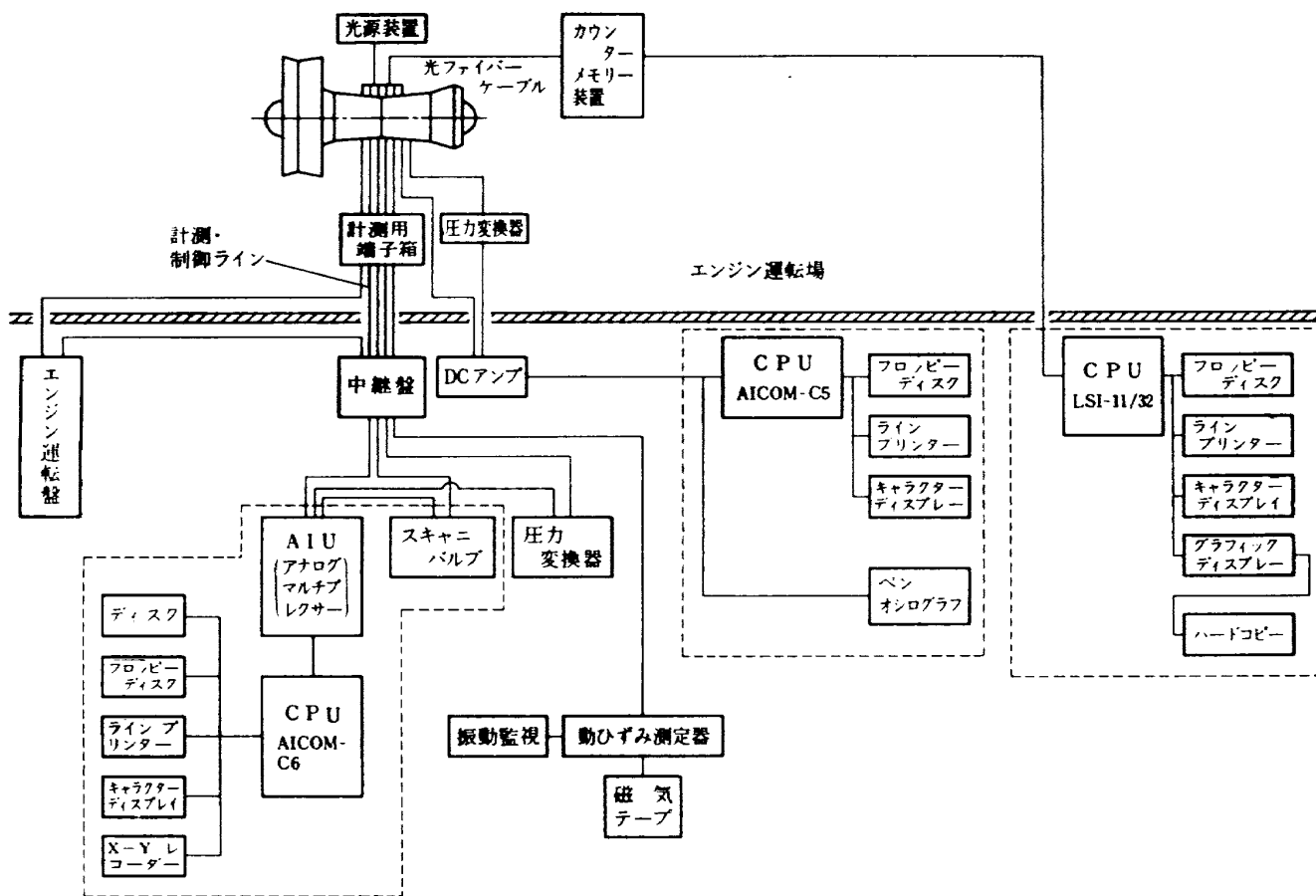


図8 データ処理システムブロック図

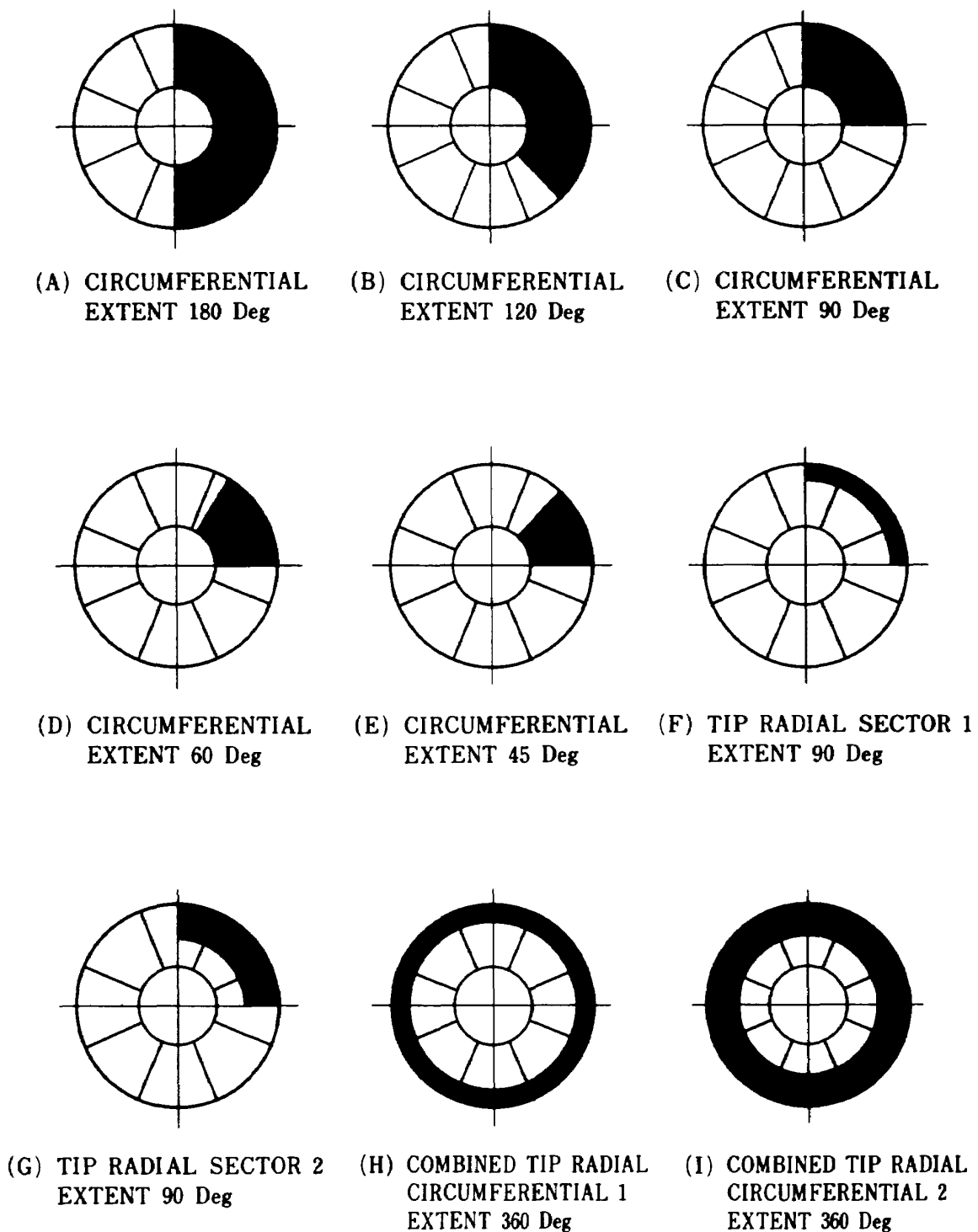


図9 ディストーション試験パターン

4. エンジン性能試験及び検討

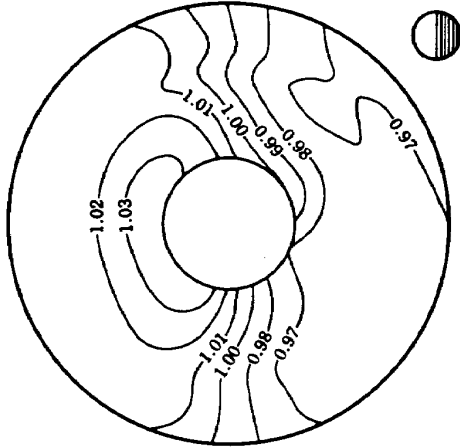
試験結果の一覧表を表3に示す。計測したインレットディストーションパターンの代表例は図10に示す通りである。概ね予想した個所に所定のディストーションがついていることが解る。また、ファン入口直前の全圧、静圧、全温及びマッハ数の分布をファン周方向に展開して図11、12に示す。図中TIP

と示したものは翼先端近傍を、RAKE AVERAGEは半径方向の平均値を、HUBは翼根部近傍の値を示したものである。ディストーション発生装置の特性上、翼先端部より翼根部の方が圧力を高くなっている。また、ディストーションは全圧のみならず静圧分布にもついている。10500 kwの空気源をディストーション発生のための2次空気として使用した試験ケース13、14は、2次空気量が多く、かつ空

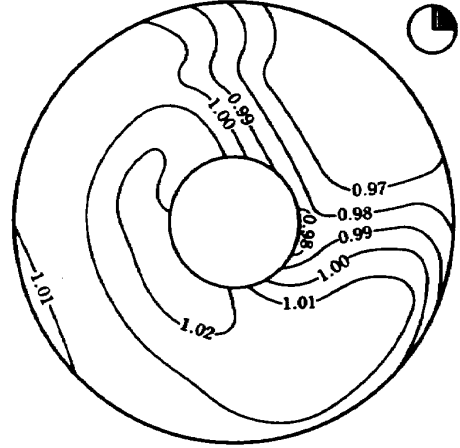
表 3 試験結果一覧表

TEST NO.	CORRECTED FAN SPEED (RPM)	DISTORTION PATTERN	SECONDARY AIR FLOW / NO.OF S.A. NOZZLE	SECONDARY AIR FLOW / MAIN AIR FLOW	S.A SUPPLY COMPRESSOR	DISTORTION INDEX	BYPASS NOZZLE AREA
1	—	—	—	—	—	—	110 %
2-1	3 2 6 8 4 3 3 0		15.91/104 15.70/104	16.38 % 12.32 %	3700 kW	2.19 % 2.96 %	110 %
2-2	3 2 6 1 4 3 4 4 4 7 5 9 5 2 0 2		15.76/104 15.43/104 15.31/104 15.20/104	16.40 % 12.20 % 10.91 % 9.90 %	3700 kW	2.26 % 2.82 % 3.22 % 3.62 %	110 %
3	3 3 3 2 4 3 6 7 4 8 7 9 5 6 2 0		10.02/52 10.09/52 10.10/52 10.19/52	10.18 % 7.79 % 7.03 % 6.09 %	3700 kW	4.72 % 5.31 % 5.89 % 7.10 %	110 %
4	3 3 4 8 4 3 6 6 4 8 7 2 5 3 8 0		7.29/39 7.27/39 7.29/39 7.26/39	7.64 % 5.79 % 5.17 % 4.63 %	3700 kW	4.69 % 5.75 % 6.12 % 6.68 %	110 %
5	3 3 2 4 4 4 0 1 4 8 5 5 5 3 4 8		4.96/26 4.94/26 4.93/26 4.95/26	5.22 % 3.95 % 3.55 % 3.19 %	3700 kW	4.22 % 5.47 % 6.10 % 6.75 %	110 %
6	3 2 6 7 4 3 4 2 4 8 2 6 5 2 1 0		3.30/17 3.31/17 3.30/17 3.28/17	3.66 % 2.76 % 2.44 % 2.20 %	3700 kW	3.25 % 5.53 % 6.14 % 6.62 %	110 %
7	3 3 0 0 4 3 6 2 4 8 5 4 5 2 5 0		0.94/13 0.94/13 0.95/13 0.95/13	1.05 % 0.79 % 0.71 % 0.65 %	3700 kW	3.11 % 5.25 % 6.04 % 6.45 %	110 %
8	3 2 9 1 4 3 1 4 4 8 0 5 5 1 9 8		1.58/8 1.57/8 1.56/8 1.56/8	1.76 % 1.29 % 1.17 % 1.06 %	3700 kW	2.29 % 3.65 % 4.57 % 4.79 %	110 %
9	3 2 5 7 4 3 8 4 4 9 1 5 5 2 7 9		3.16/16 3.14/16 3.16/16 3.15/16	3.35 % 2.52 % 2.26 % 2.04 %	3700 kW	3.27 % 5.47 % 5.78 % 6.39 %	110 %
10	3 2 6 6 4 3 5 2 4 8 0 7 5 2 1 1		6.16/32 6.20/32 6.13/32 6.07/32	6.33 % 4.84 % 4.32 % 3.91 %	3700 kW	3.16 % 4.36 % 4.90 % 5.64 %	110 %
11	3 2 7 1 4 3 2 2 4 7 8 9 5 2 0 2		11.28/64 11.33/64 11.33/64 11.00/64	11.36 % 8.76 % 7.88 % 7.05 %	3700 kW	3.89 % 4.80 % 5.03 % 5.58 %	110 %
12	4 7 8 4 5 2 3 5		4.82/26 4.82/26	3.53 % 3.21 %	3700 kW	6.00 % 6.27 %	110 %
13	3 2 6 7 4 2 4 0 4 7 3 0 5 1 4 9		14.52/52 12.73/52 12.61/52 12.56/52	15.80 % 10.63 % 9.40 % 8.52 %	10500 kW	8.98 % 7.78 % 8.24 % 9.02 %	110 %
14	3 1 8 3 4 2 9 1 4 7 3 2 5 1 9 1		6.41/26 6.42/26 6.43/26 6.39/26	7.28 % 5.37 % 4.86 % 4.36 %	10500 kW	4.49 % 7.11 % 8.15 % 8.85 %	110 %

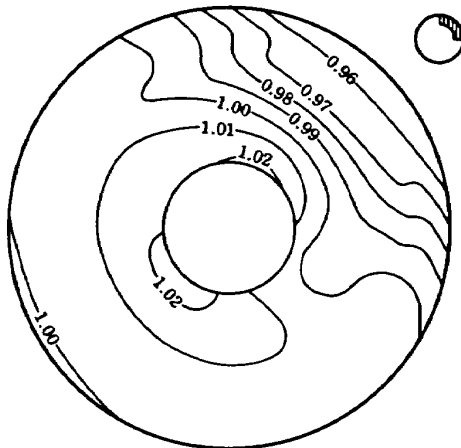
TEST NO.	3
CORRECTED FAN SPEED(RPM)	5620
DISTORTION PATTERN	CIRCUMFERENTIAL EXTENT 180 DEG
DISTORTION INDEX	0.0709



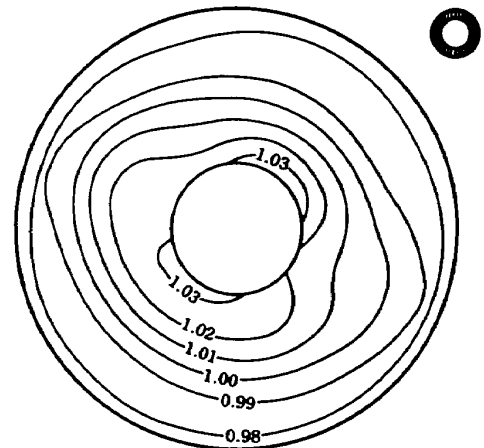
TEST NO.	5
CORRECTED FAN SPEED(RPM)	5349
DISTORTION PATTERN	CIRCUMFERENTIAL EXTENT 90 DEG
DISTORTION INDEX	0.0674



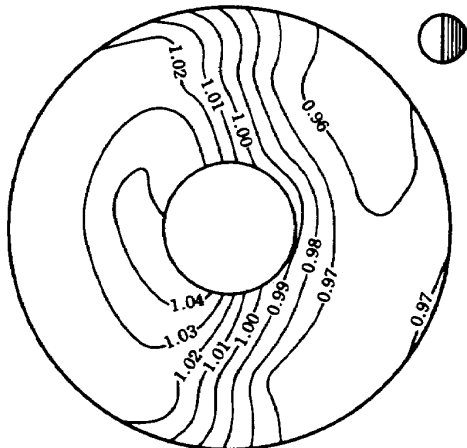
TEST NO.	9
CORRECTED FAN SPEED(RPM)	5273
DISTORTION PATTERN	TIP-RADIAL CIRCUMFERENTIAL EXTENT 90 DEG
DISTORTION INDEX	0.0629



TEST NO.	11
CORRECTED FAN SPEED(RPM)	5203
DISTORTION PATTERN	TIP-RADIAL PATTERN
DISTORTION INDEX	0.0556



TEST NO.	13
CORRECTED FAN SPEED(RPM)	5152
DISTORTION PATTERN	CIRCUMFERENTIAL EXTENT 180 DEG
DISTORTION INDEX	0.0897



TEST NO.	14
CORRECTED FAN SPEED(RPM)	5192
DISTORTION PATTERN	CIRCUMFERENTIAL EXTENT 90 DEG
DISTORTION INDEX	0.0684

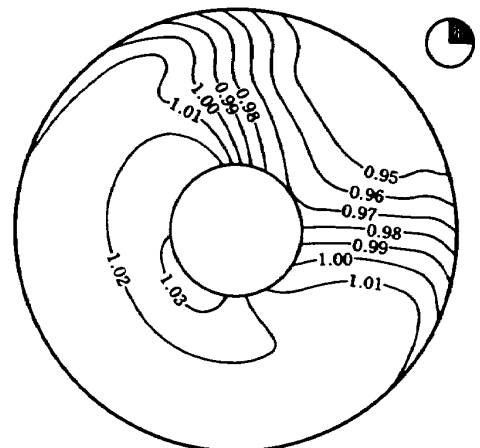


図 10 ファン入口全圧分布

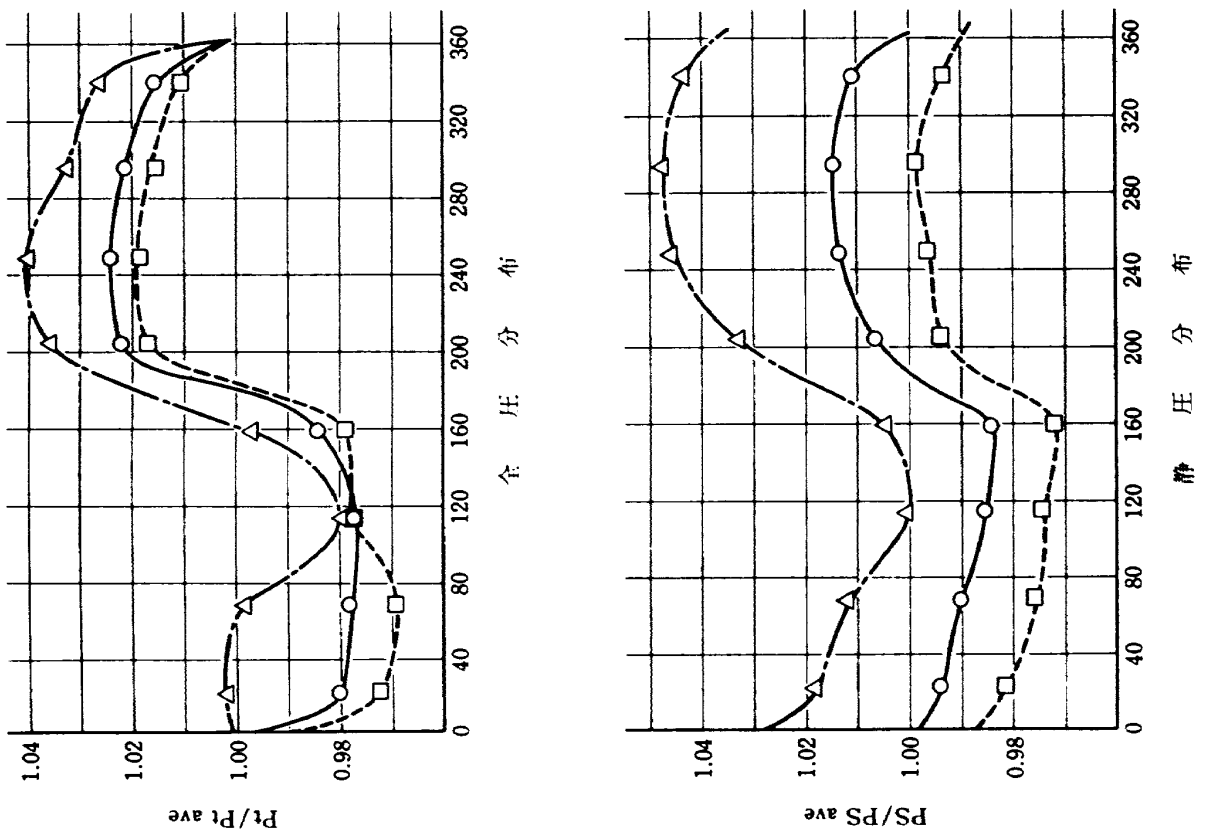
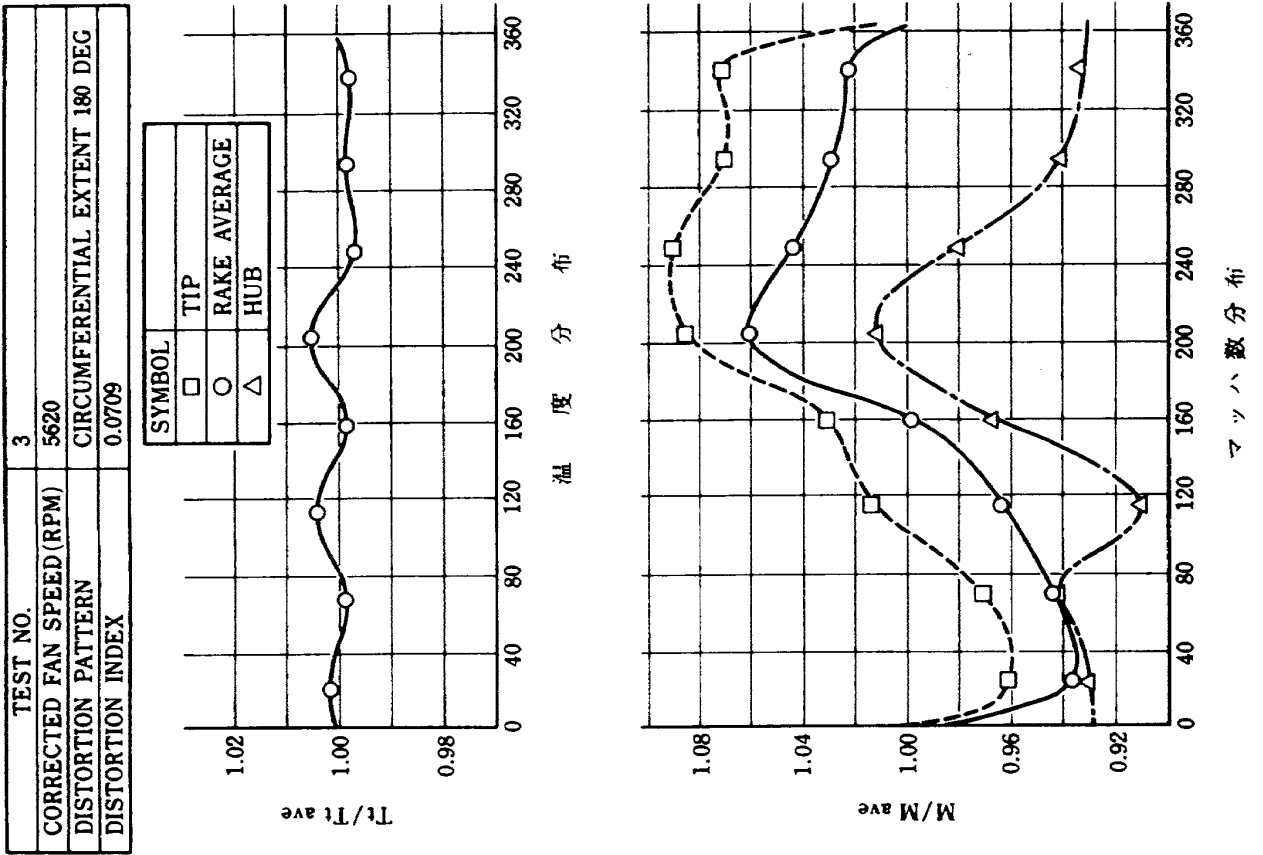


図 11 ファン入口周方向展開一全圧, 静圧, 温度, マッハ数分布

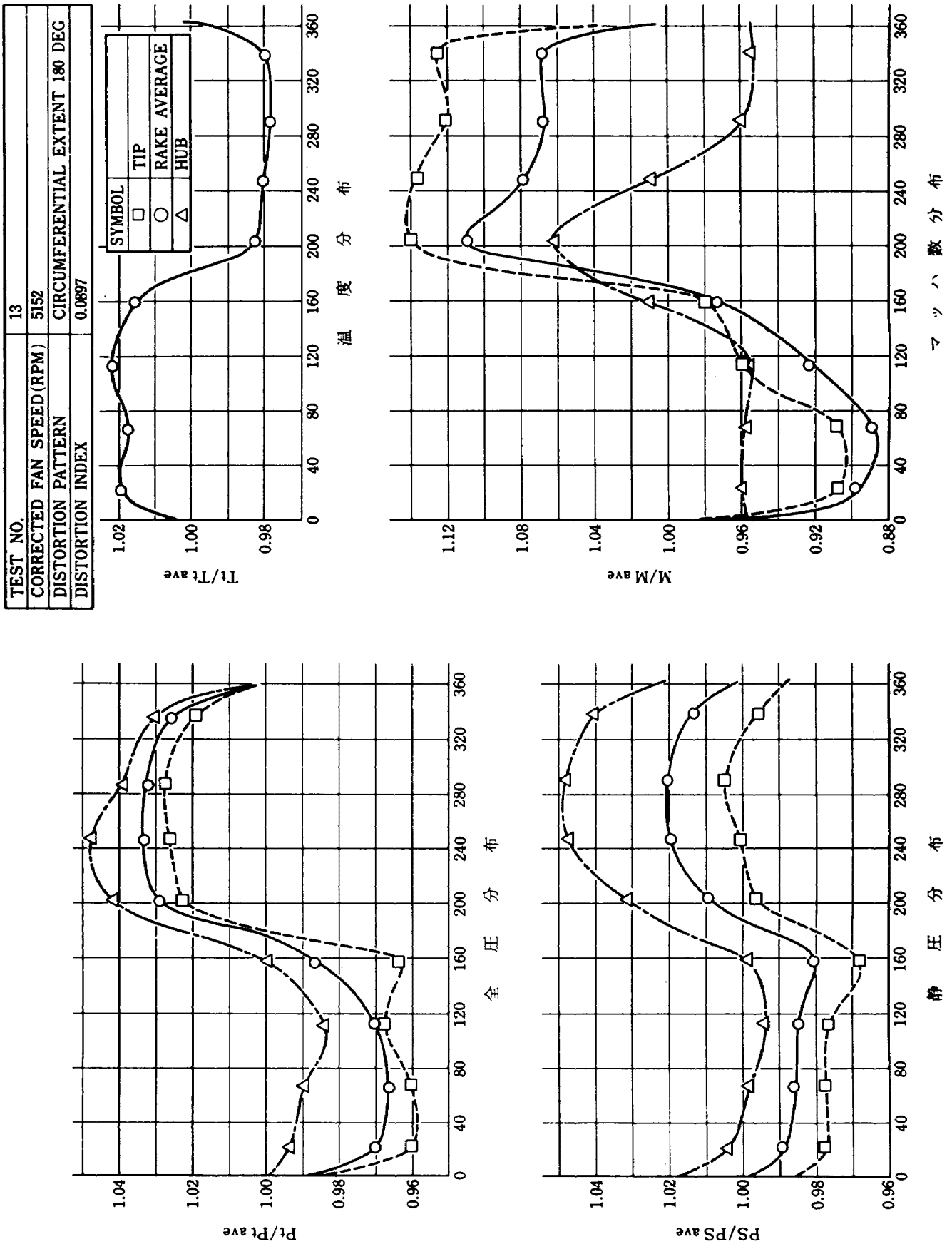


図 12 ファン入口周方向展開 - 全圧, 静圧, 温度, マッハ数分布

気温度が高いため、温度ディストーションも同時についている。

これらのディストーション下で行ったエンジン性能計測の結果、エンジン全体性能は図13から図17にまとめた通りである。

図13に示すファン回転速度に対する正味推力で、ディストーション環境では推力の低下が認められるが、第1報でも述べた通り、2次空気吹き出しによるエンジン入口圧力損失の増加に起因するものが多く、ディストーションによってファン性能の低下によるものではない。このことは、試験ケース2の全面吹き出しの場合、ディストーションインデックスは小さいにもかかわらずディストーションインデックスが最大の試験ケース13と推力の低下は殆んど変わらないことからいえる。

正味推力に対する燃料消費率の図14よりディストーションによるエンジン全体性能の低下も顕著には現われていない。またエンジンマッチングの一つの指標である図15のファン回転速度とコア圧縮機

の回転速度の関係も殆んど変わっていない。

ファン及び圧縮機の作動線を図16、図17に示す。これら図よりディストーションによってファン・圧縮機の作動点は絞り側にきているが、ファン入口の圧力損失によって入口絞りとなった結果である。

ダイナミックディストーションの試験は、エンジンレーティングを一定に保ち、急激に2次空気を吹出したり、停止する方法をとった。この結果、エンジン性能に与える影響は殆んどなく翼振動も急激に増加することもなかった。記録データの一例を図18に示す。

5. ファン動翼振動の解析結果

エンジンの号機やファン動翼の取付け状態によって差があるが、今回の試験に用いた7号機のファン動翼のキャンベル線図は図19の通りであった。ファン回転速度3800 RPMと5400 RPM近傍にファン回転の4次及び3次とファン動翼固有振動数の共振点がある。

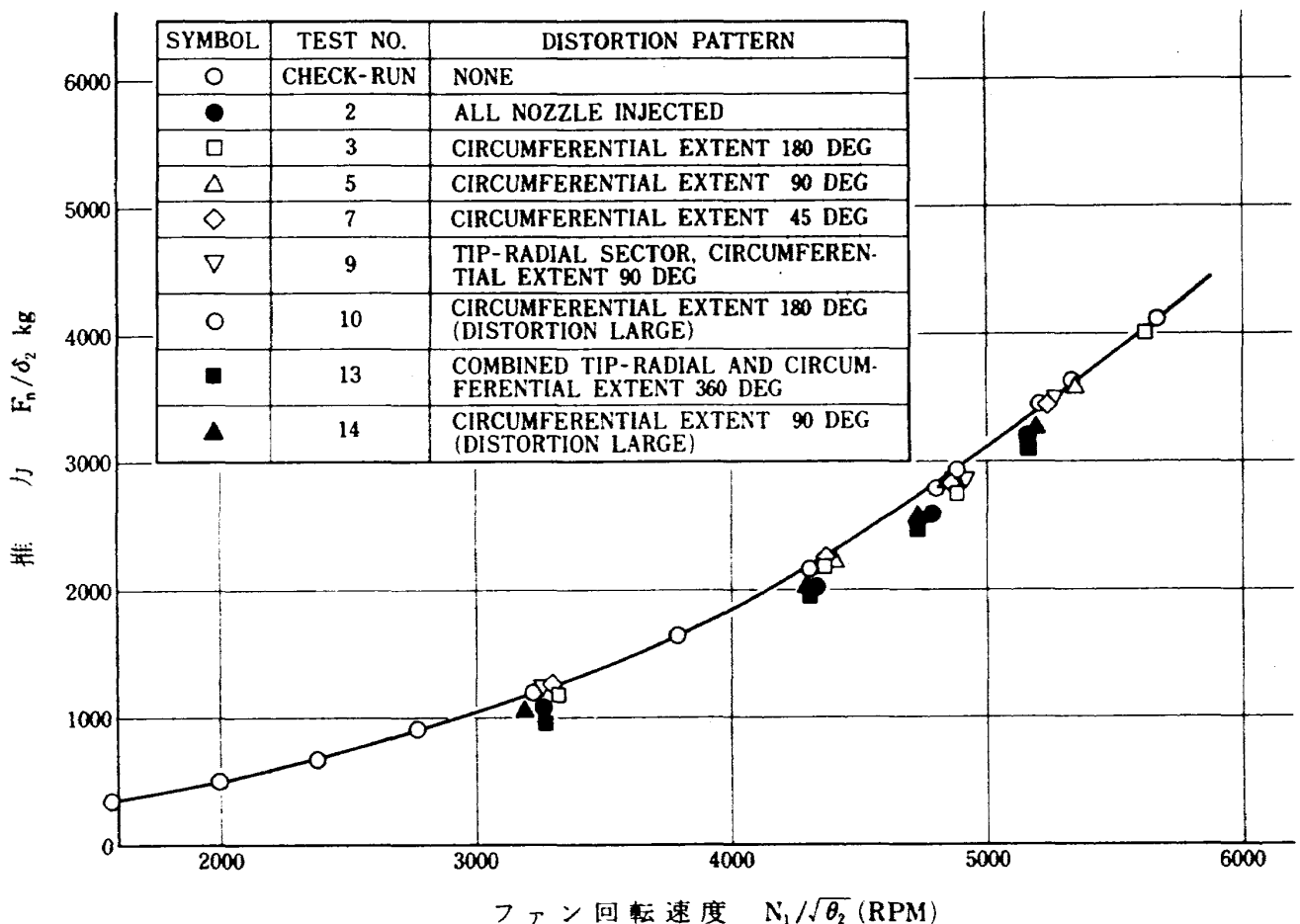


図13 正味推力

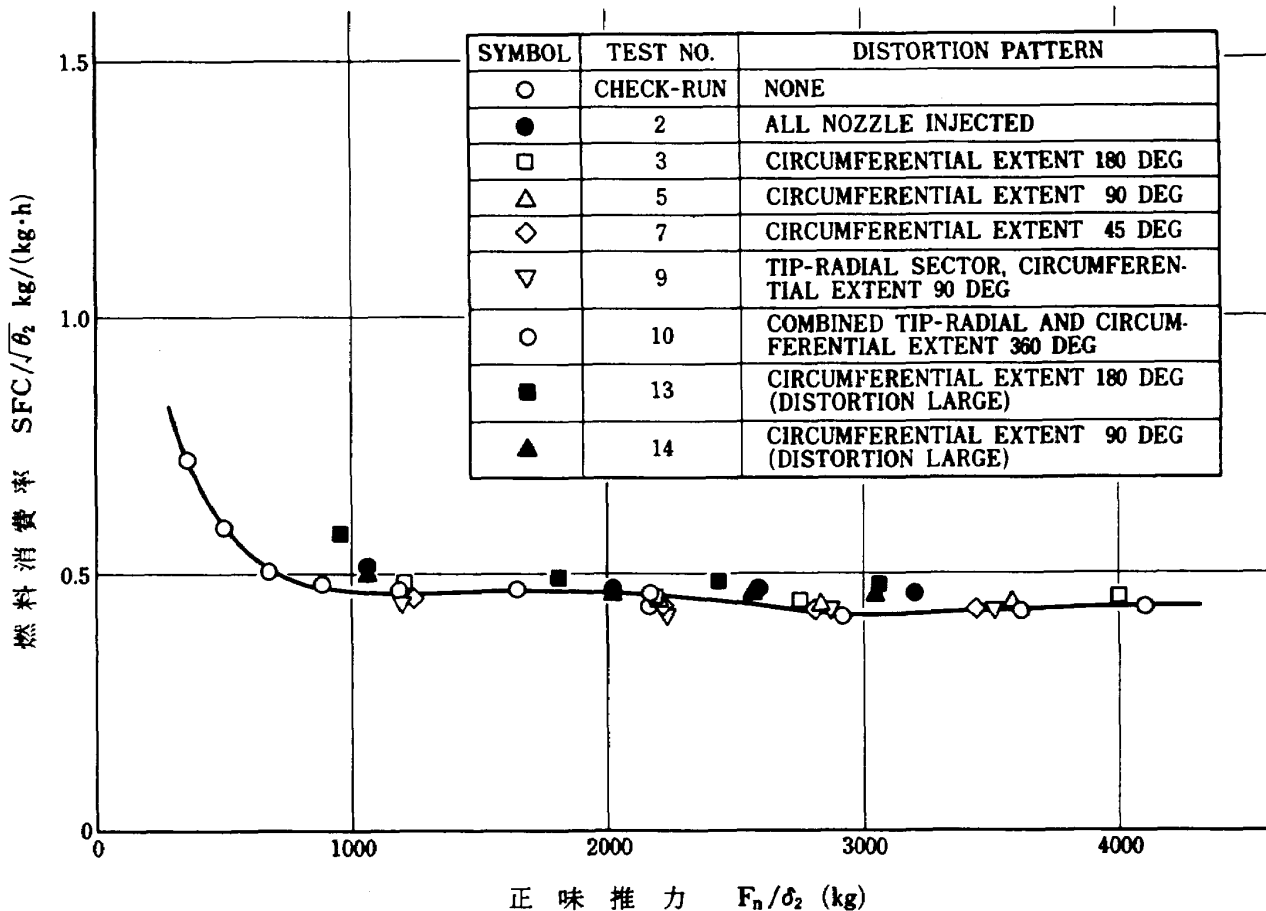


図 14 燃料消費率

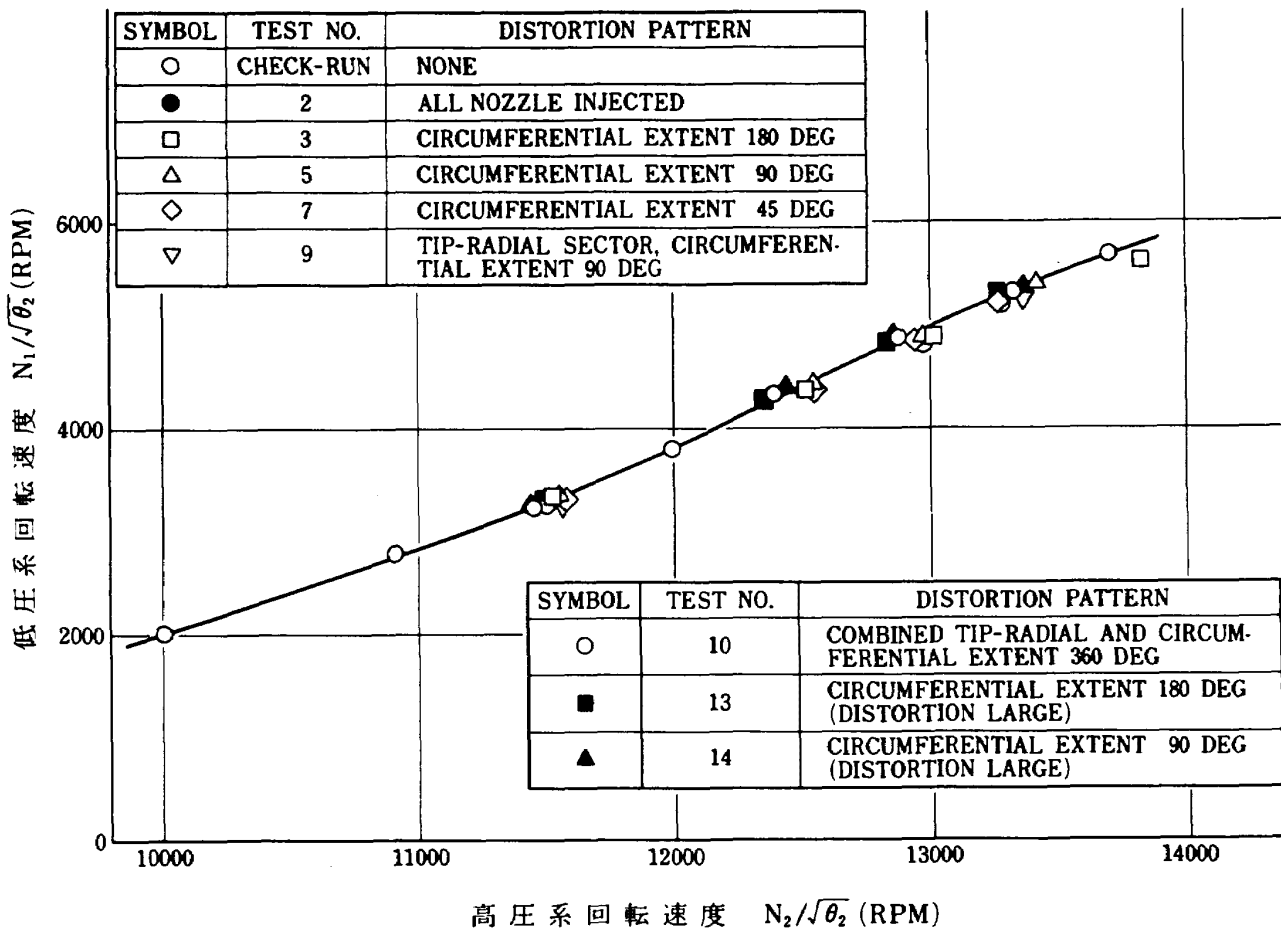


図 15 低圧系-高圧系回転速度マッチング

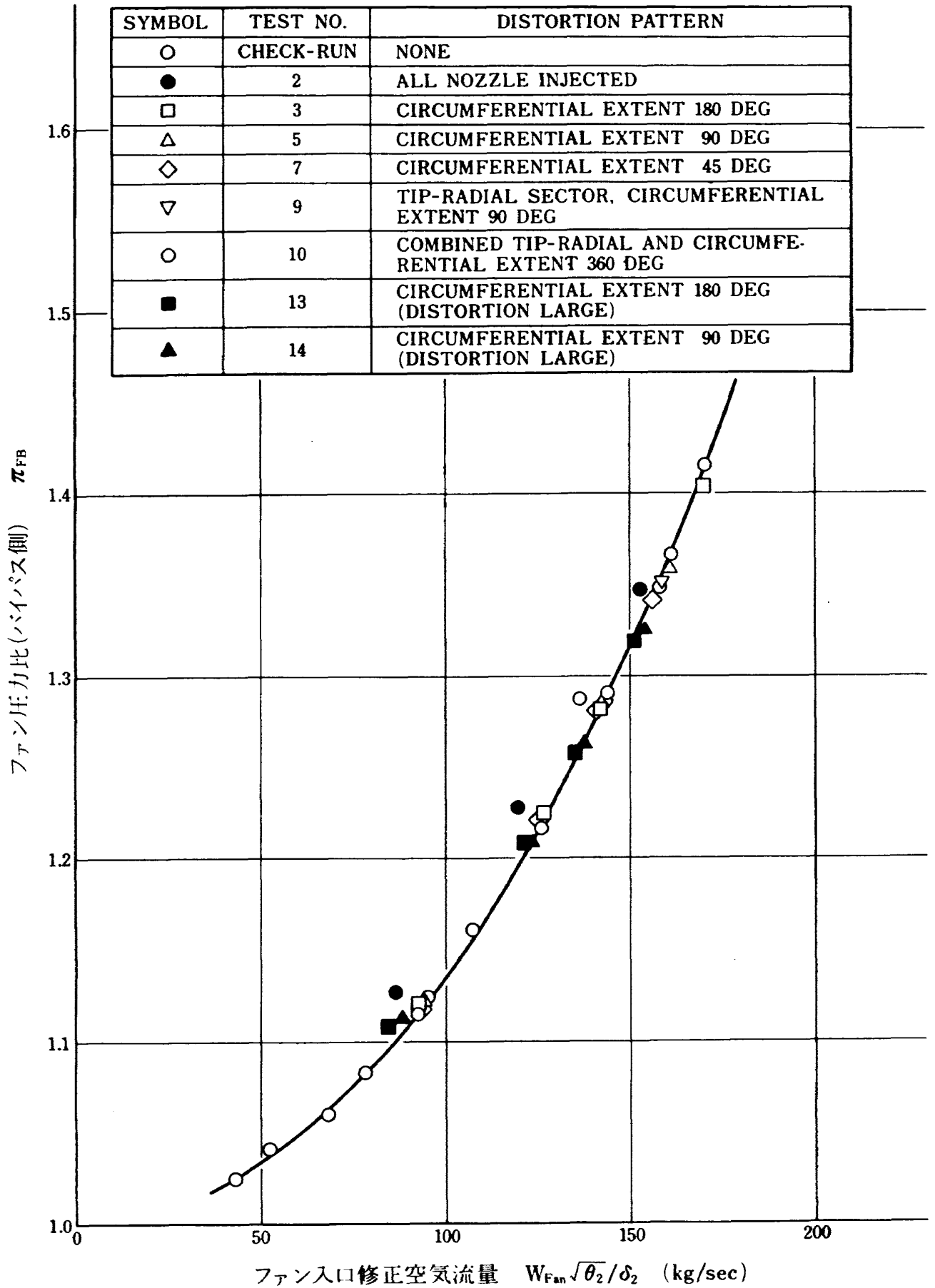


図 16 ファン作動線

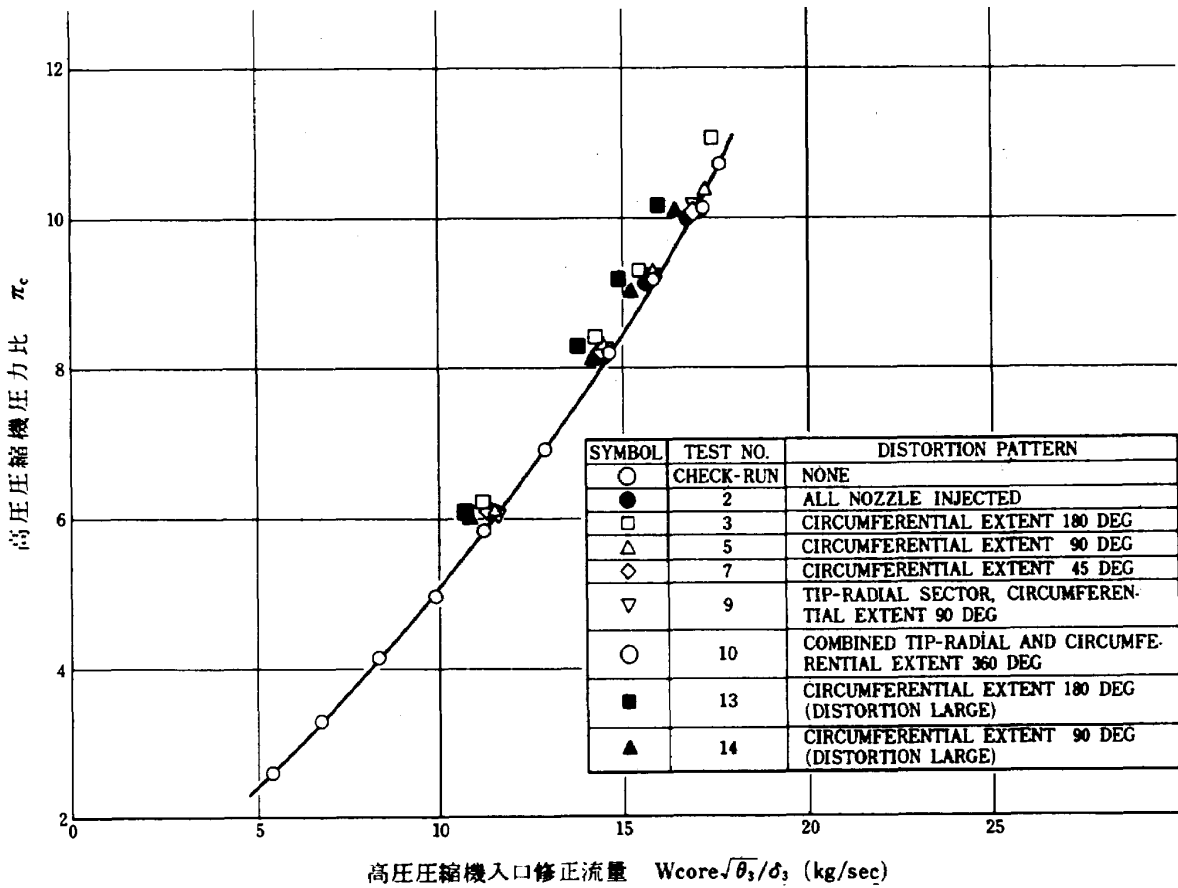


図 17 高圧圧縮機作動線

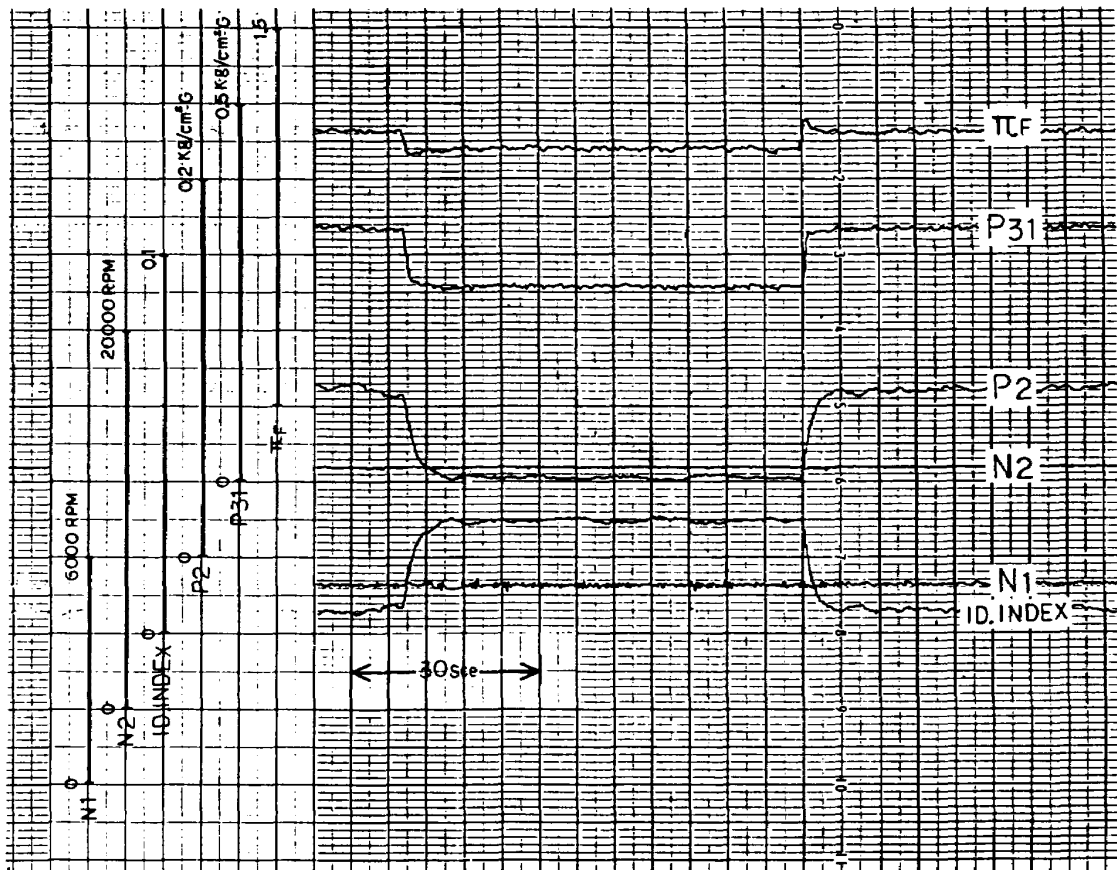


図 18 ダイナミックディストーション試験結果

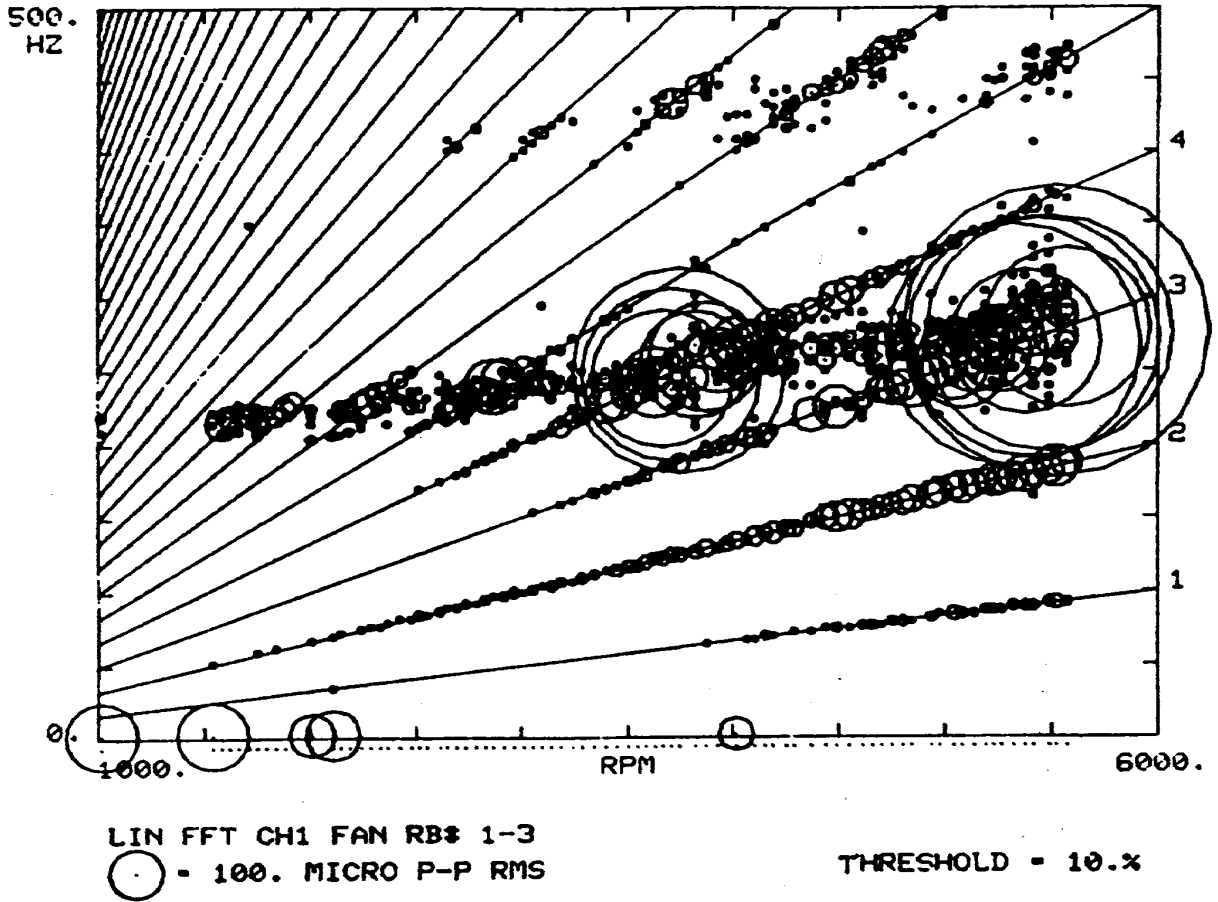


図19 キャンベル線図

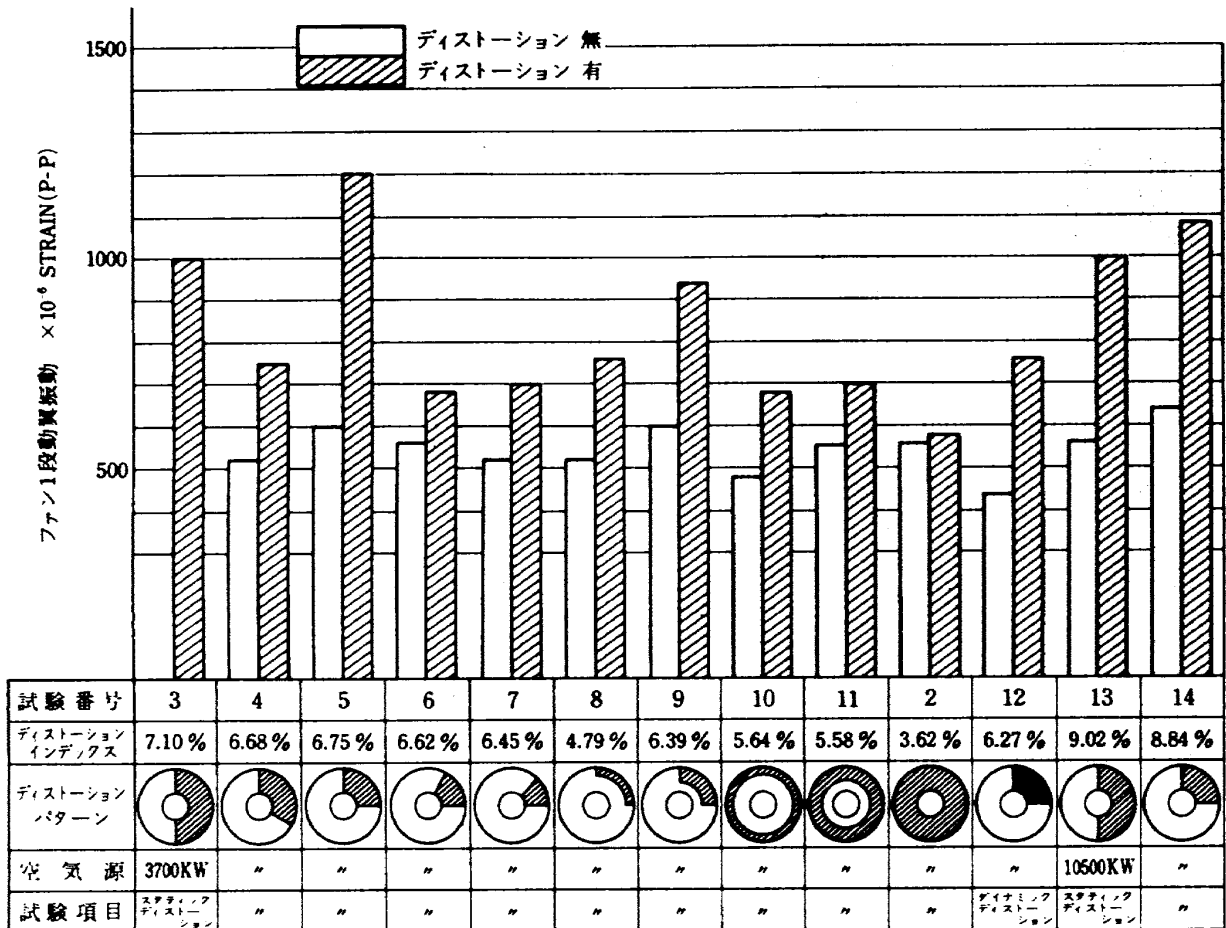


図20 インレットディストーションの有無によるファン1段動翼の振動レベル

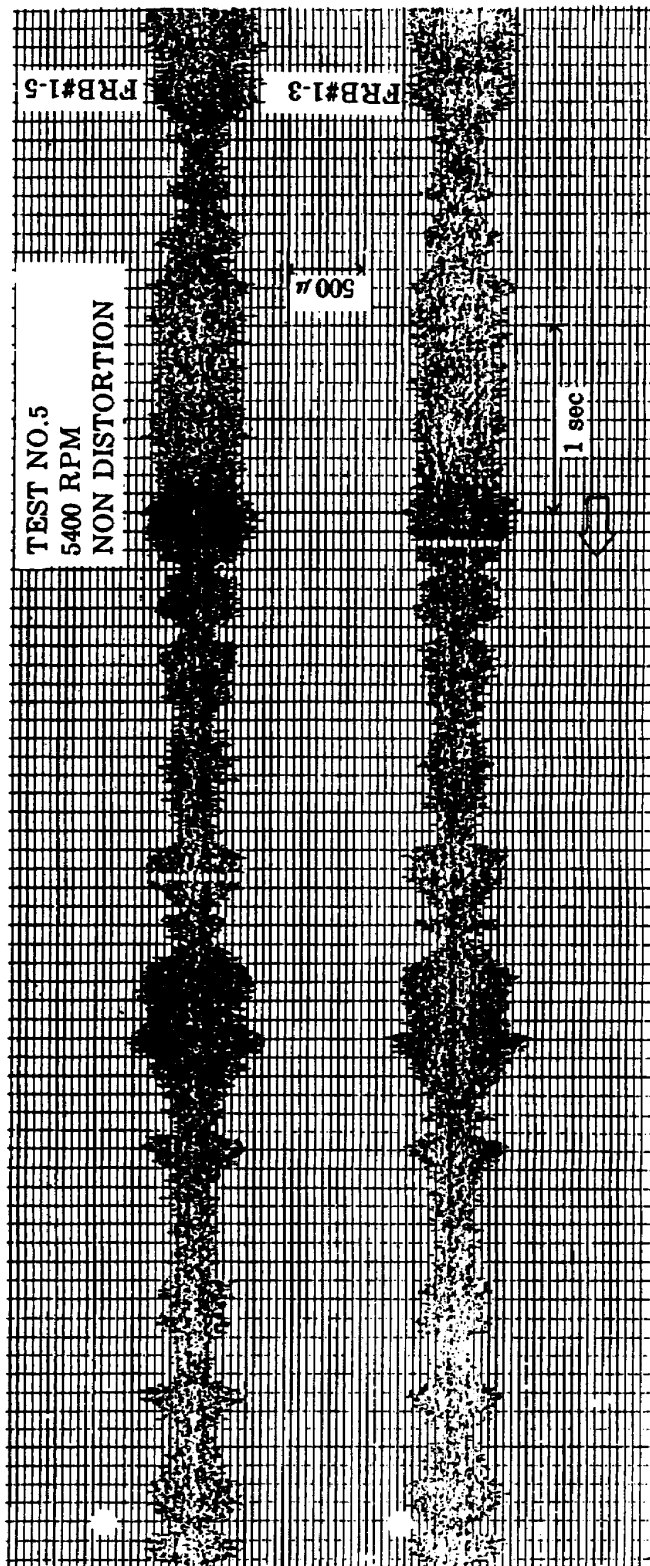


図 21 ファン動翼振動波形

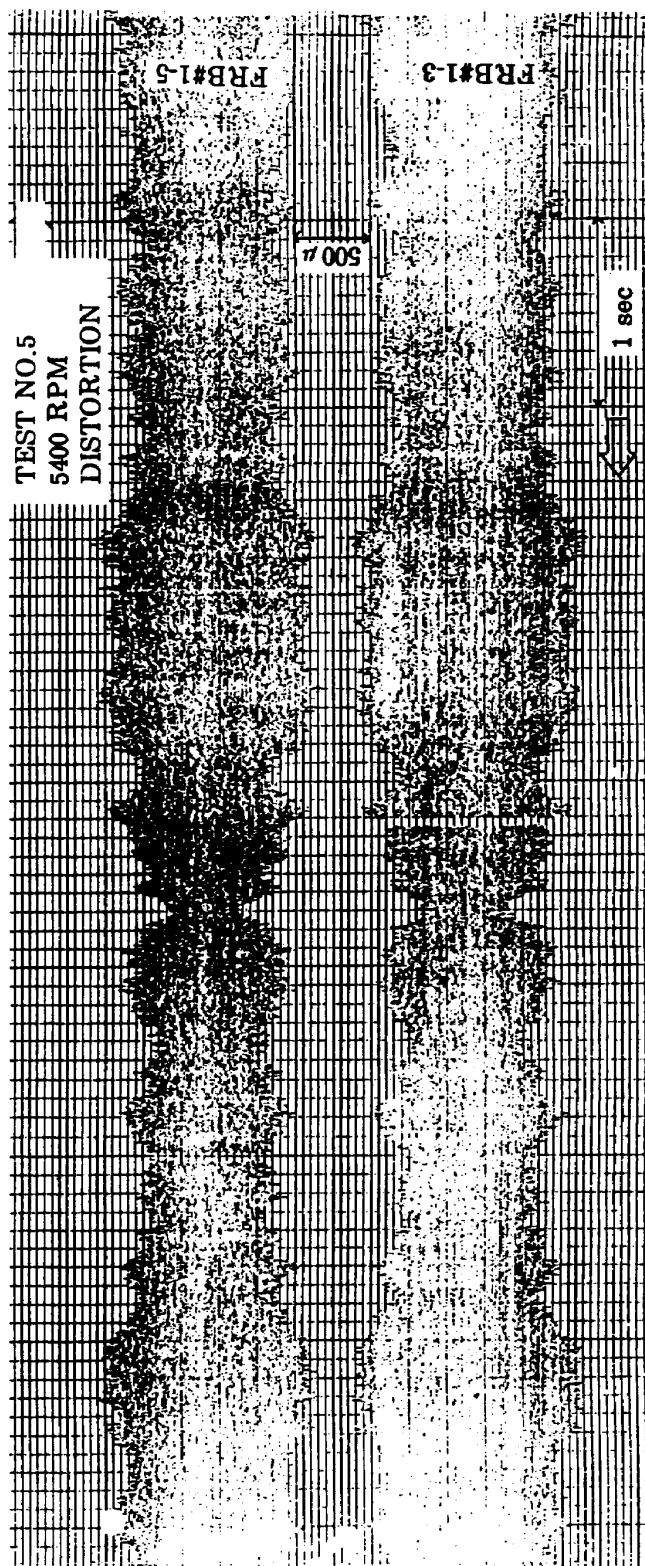


図 22 ファン動翼振動波形

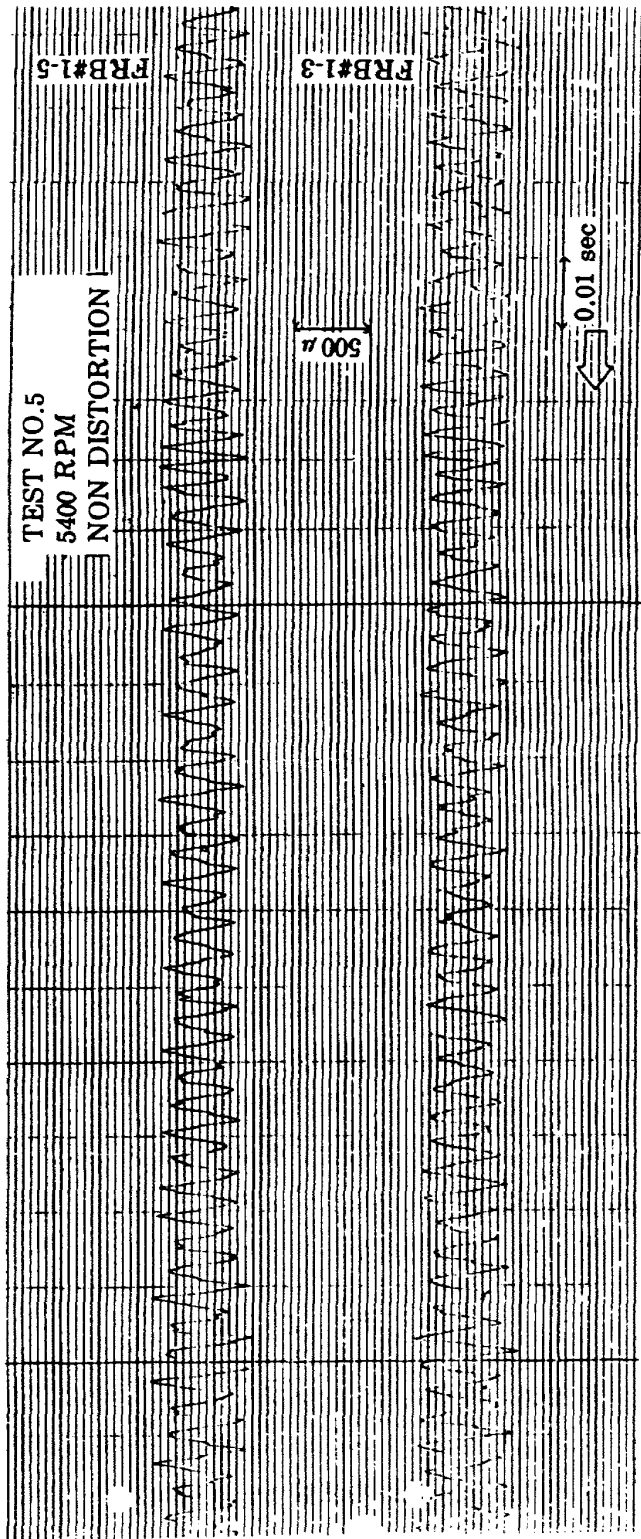


図 23 ファン動翼振動波形

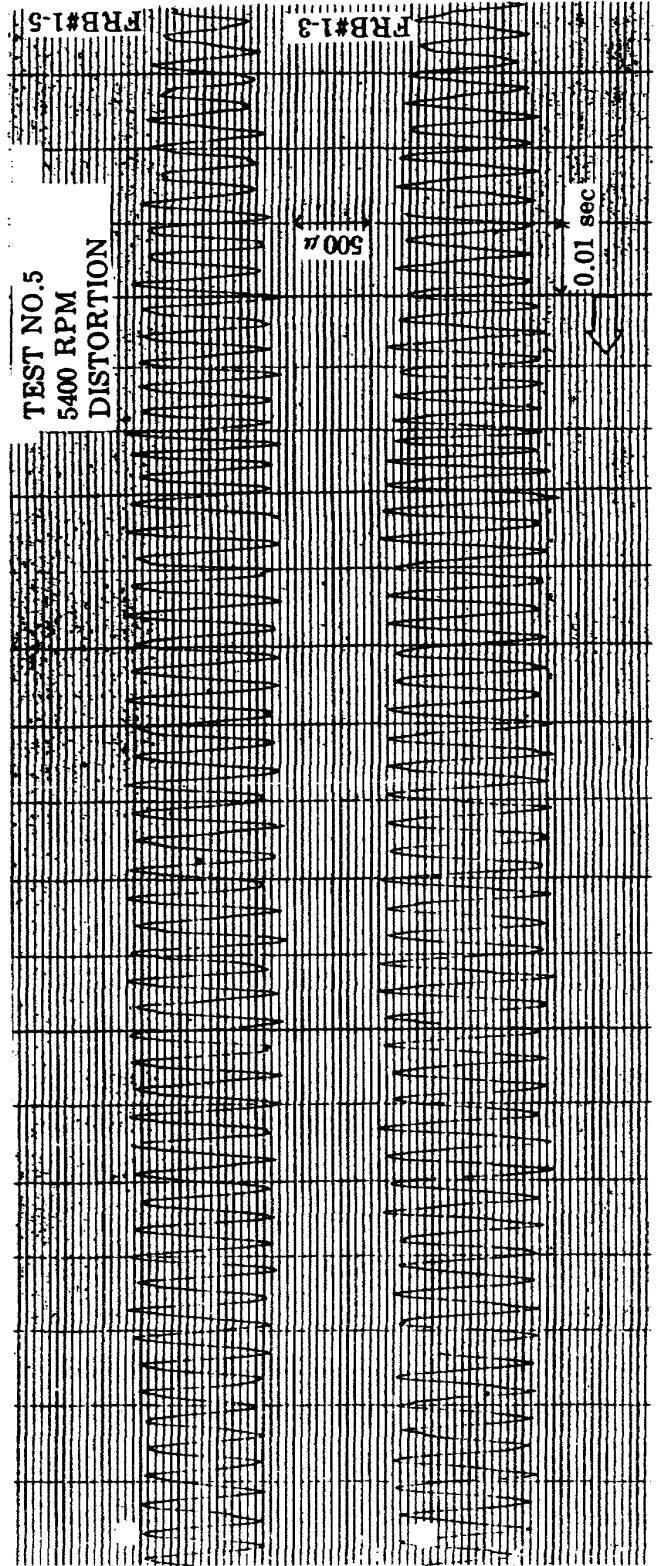


図 24 ファン動翼振動波形

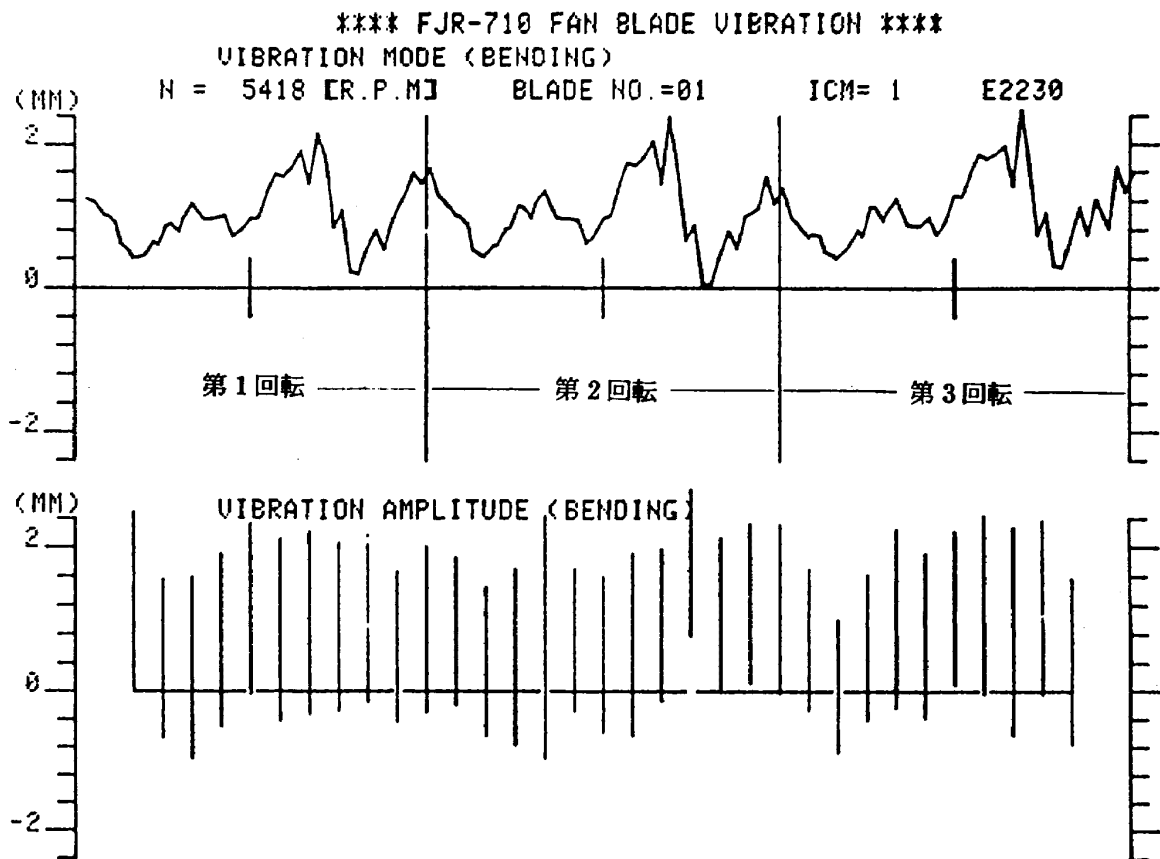


図 25 非接触型振動計によるファン動翼振動波形

図 20 にインレットディストーションの有る場合とない場合の最大ファン動翼ひずみの大きさと示す。

この図で実線で示したものはインレットディストーションなしの場合で本来各試験ケースで同じになるはずであるが、図に示した程度のバラツキがある。

斜線で示したディストーションのある場合は、いずれのケースにおいても振動ひずみが大きくなっている。その差が最も顕著に現われ、ひずみも最も大きい試験ケースについてその振動波形を図 21、図 24 に示す。この図にみられる通り、波形はほぼ共振波形に近い。

同一の試験ケースについて非接触型振動計測法で計測した振動波形及び振巾を図 25 に示す。尚これに関する詳しい報告は別報にゆずる。

以上示した例は最も大きく振動したものであるが、設計許容値内に入っており問題にならない。

む す び

実際の飛行時に受けるであろうインレットディストーションを大きく上まわったディストーションを与え FJR710/600 エンジンの試験を行ったが、FJR 710/10、/20 の場合と同様、エンジン全体性能の低下は認められなかった。翼振動に関してもディストーションによって多少増加するが許容出来る範囲であり、十分な耐インレットディストーション特性を持っていることが明らかとなった。

参 考 文 献

- 1) 森田他；FJR710 ファンジェットエンジンのインレットディストーション試験(I) — 装置及び FJR710/10、/20 の試験 — 航技研資料 TM-469
- 2) 森田他；エンジン試験用データ処理システム 航技研資料 TM執筆中
- 3) 遠藤他；ファン動翼振動計測装置の試作 航技研資料 TM-471

航空宇宙技術研究所資料496号

昭和58年3月発行

発行所 航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺町1880
電話武蔵野三鷹(0422)47-5911(大代表)〒182

印刷所 株式会社 東京プレス
東京都板橋区桜川2-27-12
