

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

第4回屋外エンジン運転試験

水野 拓哉，石井 達哉，米田 有紀子，
田頭 剛，二村 尚夫，高 将治

2009 年 3 月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

第4回屋外エンジン運転試験*

水野 拓哉^{*1}, 石井 達哉^{*2}, 米田 有紀子^{*1},

田頭 剛^{*1}, 二村 尚夫^{*2}, 高 将治^{*1}

The fourth Open-air Field Engine Tests*

Takuya MIZUNO^{*1}, Tatsuya ISHII^{*2}, Akiko KOMEDA^{*1},
Takeshi TAGASHIRA^{*1}, Hisao FUTAMURA^{*2} and Masaharu KOH^{*1}

ABSTRACT

We aimed at the establishment of the noise measurement methods of the engines, the evaluation of the noise reduction devices, and the acquisition of the engine test techniques in the open-air field. So we carried out open-air field engine tests at Noshiro Testing Center since 2004. Because of a remote location and a short period, it was necessary to check carefully the function of equipment parts for tests and the function and performance of the engine in advance. Therefore we thought it was important to put summaries of the test including the test preparations in order because we carried out the next open-air field engine tests efficiently. So we wrote this report about the fourth open-air field engine tests that we carried out in August, 2007.

Key Words : Engine Test, Open-air Field, Noise Reduction Device, Noise Measurement, Exhaust Velocity

概要

エンジンの騒音計測法の確立, 騒音低減デバイスの検証, 屋外におけるエンジン運転試験技術の獲得を目指し, 2004年から能代多目的実験場にて屋外エンジン運転試験を実施してきた. 屋外エンジン運転試験の実施にあたっては, 遠隔地であること, 限られた試験期間であることから, 試験デバイス等の製作はもちろんのこと, 試験機材の機能チェック, 供試エンジンの機能, 性能確認等の入念な事前準備が必要とされる. そのため今後の屋外エンジン試験を効率的に実施する上で, 試験準備を含めた試験結果の概要を纏める事は重要であると判断した. そこで本稿では2007年8月に実施した第4回屋外エンジン運転試験についてまとめる.

1. はじめに

航空輸送の増加に伴い近年, 効率の向上のみならず環境を考慮した航空エンジン開発が求められている. 環境に影響を与える因子としては, 騒音, NOx, CO₂等が考えられるが, その中でも騒音に重点を置き, エンジン騒音計測法の確立, 騒音低減デバイスの検証等を行うため, 屋外にてエンジン運転試験を実施している. また上記試験と並行し, エンジン搭載位置の変更による騒音計測への影響調査, エンジン排気特性の解析等, 計測を含めたエンジン運転試験技術の向上にも努めている.

本稿は, 2007年8月に実施した第4回屋外エンジン運転試験について, 試験準備作業, 試験結果等一連の流れを整理し, 今後の屋外試験の実施にあたり有効な資料として活用できるよう纏めたものである.

2. 背景

将来の旅客輸送の増加および高速化要求に対し, JAXAでは超音速実験機の飛行実証試験の研究が行われている. その第1段階としてロケット実験機による飛行実証試験が実施され, H17年10月10日にデータレコーダを含む実験機を無事回収し成功を収めた(第2回飛行試験). 第2段階として機体に推進装置を搭載するジェット実験機による飛行実証試験が計画されていたが, ロケット実験機の第1回飛行試験の失敗を受け, 本計画は凍結となった. 本計画で推進装置として採用されたのがテレダイン社製YJ69-T406ターボジェットエンジンである. その主要スペックを表2-1に示す.

* 平成21年3月12日受付 (Received 12 March, 2009)

*1 研究開発本部 ジェットエンジン技術研究センター (Jet Engine Technology Research Center, Aerospace Research and Development Directorate)

*2 航空プログラムグループ 環境適応エンジンチーム (Clean Engine Team, Aviation Program Group)

表2-1 YJ69-T406エンジンスペック

項目	スペック
最大推力	870kgf
最大空気流量	13.8kg/s
最高飛行マッハ数	2
最大排気温度	760℃
最大エンジン回転数	22150rpm
重量	167kg
使用燃料	灯油系燃料(JET-A1)

1段の軸流圧縮機と遠心圧縮機、燃焼器、1段の軸流タービンで構成されるターボジェットエンジンで、1960年代から米国海軍で標的機用エンジンとして使用されていたものである。エンジン最大直径約600mm、長さ約1100mmのコンパクトな形状でありながら、最大推力870kgf、最大飛行マッハ数2が可能であり、上記理由からジェット実験機へ搭載が決まった。

YJ69-T406エンジンを用いた試験は、ジェット実験機への搭載に向け、エンジン性能特性データを取得する必要性から、最初に屋内テストセルおよび高空性能試験設備にて実施された。次に飛行試験を想定し、屋外での性能特性、騒音特性および運転試験技術の獲得の必要性から、屋外エンジン運転試験を実施することとなった。

現在は主にクリーンエンジンプロジェクトでの制御および騒音の研究に本エンジンを使用しており、特に騒音低減用デバイスの評価、騒音計測法の開発等を行うため、2004年から能代多目的実験場で屋外エンジン運転試験を行っている。

3. 第3回屋外エンジン運転試験までの試験概要

ターボジェットエンジンを用いた屋外エンジン運転試験は、H15年度に北海道大樹町多目的航空公園で最初に実施された。試験内容は主に当該エンジンを運転した際の周囲騒音レベル確認、屋外と屋内テストセルのエンジン性能比較、多目的航空公園で屋外エンジン運転試験を実施することが可能かの確認であった(図3-1)。



図3-1 大樹町多目的航空公園での試験の様子

H16年度以降は能代多目的実験場で実施した(H16年度の試験を第1回屋外エンジン運転試験と定義)。H16年度の試験内容はH15年度と同様、運転した際の周囲騒音レベル確認、屋外と屋内テストセルのエンジン性能比較、能代多目的実験場で屋外エンジン運転試験を実施することが可能かの確認であった(図3-2)。2つ実験場における性能評価として90%エンジンレーティング時のセルフファクター(屋内テストセル運転時推力/屋外運転時推力)を求めると、大樹町航空公園では0.966、能代実験場では0.972となり、いずれも屋外試験場の方がやや高く出ることが確認された。



図3-2 第1回屋外エンジン運転試験の様子

H17年度はエンジン排気ノズル出口部に図3-3に示すような太さ、長さの異なる3タイプのタブミキサーを装着し、放射音計測を実施した。その結果を図3-4に示す。90%レーティングにおいて400Hzから1600Hzの間においては、タブミキサーを装着することによる騒音低減効果が見られたものの、それ以外の周波数帯、特に4000Hz以上については逆に音圧レベルが上昇するという結果になった。ただし、オーバーオールで比較した場合、タブミキサーを装着することにより音圧レベルが低くなることが確認されている。

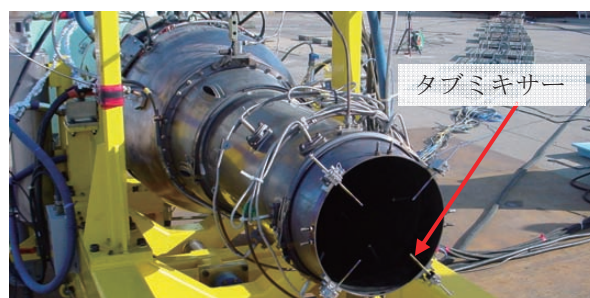


図3-3 タブミキサー取付け形態

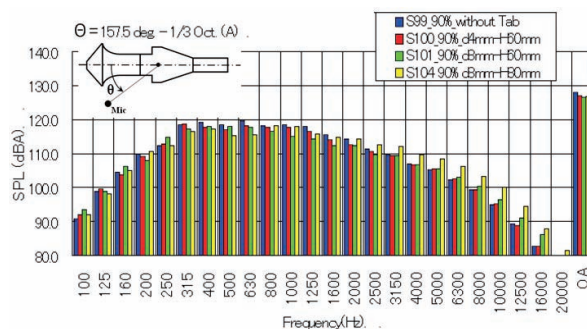


図3-4 タブミキサー騒音計測結果

H18年度は図3-5に示すような高所形態で試験を実施し、図3-2に示すような低所形態でのエンジン性能、騒音と比較し、地面効果の影響を検証した。その結果を図3-6、3-7に示す。図中に示すマイクは、エンジン中心を原点とし半径15mの円周上に設置し、エンジン入口側を 0° 、排気ノズル出口側を 180° と定義した。エンジン性能に関しては、推力(Fnc)、排気温度(EGTc)、燃料消費率(SFCc)、すべてに関して高所、低所での違いは見られないが、騒音に関しては、エンジン排気側($\theta=160^\circ$)で約2dB程度の違いが見られた。ただし、エンジン入口側($\theta=30^\circ$)では違いが殆ど見られない。

また、図3-8に示すような可変ノズルを用い、ノズル開度を変化させた際のエンジン性能、騒音特性の取得を行った。その結果を図3-9、3-10に示す。本可変ノズルのスロート面積は、開度0%の時のCノズルスロート面積に相当し、開度を0%より大きくした場合はCDノズル形状になり、開度40%、80%、100%の時、Cノズルスロート面積に対し1.09倍、1.19倍、1.23倍になる。エンジン性能の結果に関しては可変ノズル開度を大きくするにつれてSFCcが増加し、EGTcおよびFncは低下することが確認された。また騒音結果に関しては、開度を大きくするほど騒音が小さくなる傾向が見られ、特に開度0%から40%の間で8dB低下しており、その傾向が大きいと言える。



図3-5 高所試験形態

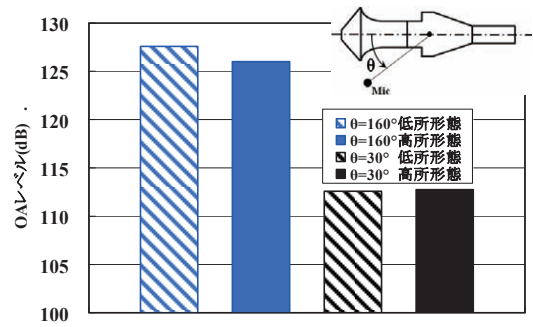


図3-7 高所・低所形態エンジン騒音比較

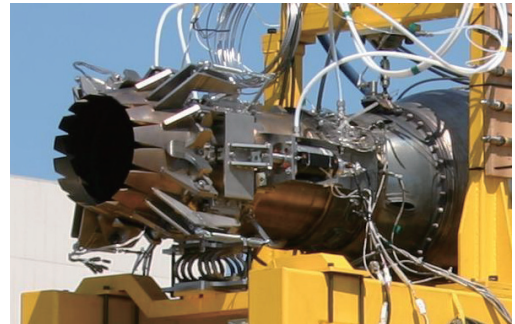


図3-8 可変ノズル

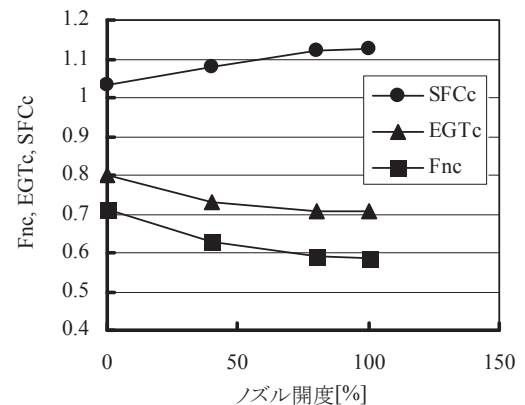


図3-9 可変ノズル形態エンジン性能結果

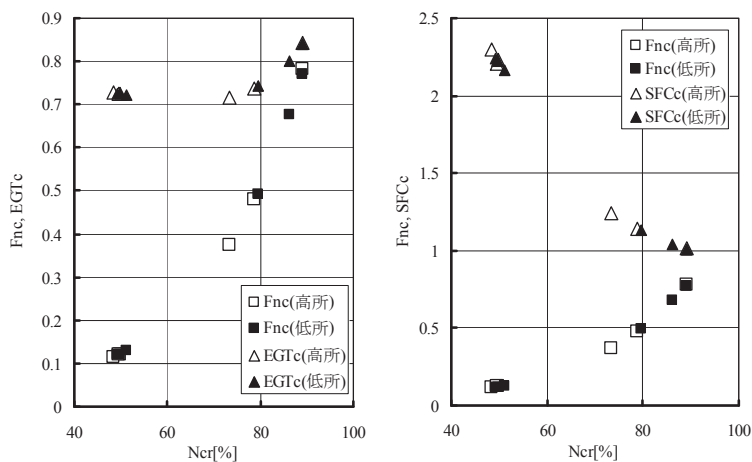


図3-6 高所・低所形態エンジン性能比較

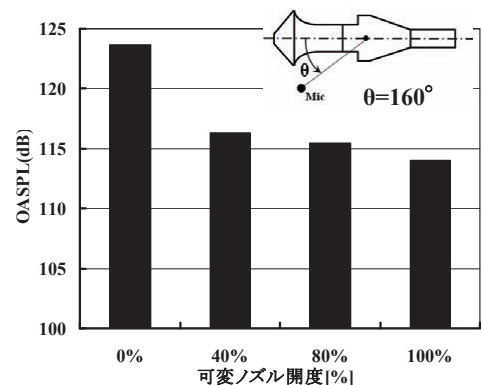


図3-10 可変ノズル形態騒音計測結果

4. 第4回屋外エンジン運転試験

第4回屋外エンジン運転試験の主要試験項目は下記の通りである。

- ① エンジンの排気特性を取得するため、排気全圧、全温データを取得
- ② エンジン低騒音化を目的とした可変排気ノズルの音響パワーレベルを計測
- ③ エンジンの排気ガス内に水を噴射し、騒音低減効果を確認

①は屋外でのエンジン運転試験・計測技術の向上を目的とし実施したものであり、取得したデータは今後の騒音評価等にも活用できる可能性があると判断し実施した。

②は第3回屋外エンジン運転試験結果を受け、可変排気ノズル開度が小さい側(開度0%から40%の間)での騒音低減効果が大きいと予測されたため実施した。

③は排気ガス内に水を噴射することにより排気ガス温度を下げ、排気流速を下げることに騒音低減が実現できるとの文献データに基づき実施した。

上記試験を行うため、事前に安全審査会、試験準備作業等を実施したが、それらを含めた第4回屋外エンジン運転試験の一連のスケジュールを表したものを表4-1に示す。調布航空宇宙センター内での準備作業は、7月4日から機材準備作業に着手し、平行して試験実施に関する安全審査を角田宇宙センター作成の「能代多目的実験場の運用について(GUA-05002B)」に基づき、3回実施した。また、8月7日に実験で使用するYJ69-T406 1号機エンジン(S/N=T-E430242)の機能確認運転を実施した。

8月21日からは能代多目的実験場で試験準備作業を開始し、8月23日にモータリングを行い、8月28日まで表4-2に示す各種試験を実施した。

各準備作業および試験内容に関する内容は次章以降に示す。

表4-2 能代多目的実験場での作業内容

日付(8月)	作業内容
21日(火)	・試験準備作業
22日(水)	・試験準備作業
23日(木)	・試験準備作業 ・モータリング ・エンジン機能確認試験
24日(金)	・高所可変ノズル騒音計測試験 ・高所Cノズル騒音計測試験
25日(土)	・排気計測用トラバース装置のトラブルシュート
26日(日)	・休日
27日(月)	・低所Cノズル排気トラバース試験
28日(火)	・エンジン排気内水噴射騒音計測試験
29日(水)	・撤収作業

4. 1 エンジン出荷前準備作業

本節では現地試験場にてエンジン試験を実施する際に必要となる新規機材の製作および計測器材、調布航空宇宙センター内にて実施する機材準備作業、およびエンジンの健全性を確認するためのエンジン機能確認運転について述べる。

4. 1. 1 新規製作機材

H19年度に製作した主な新規機材は、①排気トラバース装置、②全圧全温計測用ピトーレーク、③エンジン排気内水噴射用リングの3点である。以下に各装置の詳細を示す。

① 排気トラバース装置

排気トラバース装置の外形を図4.1-1に示す。本装置は排気方向特性を計測するための直進移動機構と、排気断面特性を計測するための回転移動機構を備えている。

表4-1 第4回屋外エンジン運転試験全体スケジュール

作業内容	場 所	7月							8月																							
		2	3	4	5	6	9	30	7	8	9	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31									
		月	火	水	木	金	月	月	火	水	木	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金									
基盤統括一時審査	調布																															
能代多目的実験場使用審査会(基盤統括主催)	調布																															
能代多目的実験場利用承認審査会(角田宇宙センター主催)	調布																															
機材準備作業	調布																															
エンジン機能確認運転	調布																															
機材出荷作業	調布																															
能代屋外エンジン運転準備作業	能代																															
能代屋外エンジン運転試験	能代																															
撤収作業	能代																															
機材出荷作業	能代																															
機材受入れ作業	調布																															

排気方向へは10D(DはCノズル出口直径φ261mm)まで計測可能にするため、3000mm移動できる様にしてある。移動速度は10, 50, 100mm/sの3種類から選ぶことが出来る。回転方向は185°まで移動することが可能であり、事項で述べる全圧全温計測用ピトーレークを使用し、360°断面計測が可能である。回転速度は2, 5, 10°/sの3種類から選ぶことが出来る。

また、圧力計測チューブおよび熱電対ケーブルを通すための回転移動機構リングは、直径φ1200mmとCノズル出口直径に対しかかなり大きい、これはテレダイン社の排気データから、耐熱的、動圧的に問題ないであろうと考えた大きさである。

2つの機構の制御にあたっては図4.1-2に示す専用のコントローラを2台使用する。

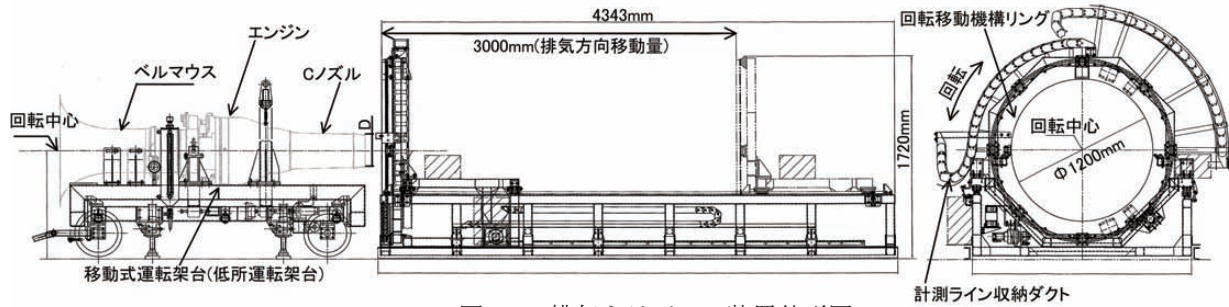


図4.1-1 排気トラバース装置外形図

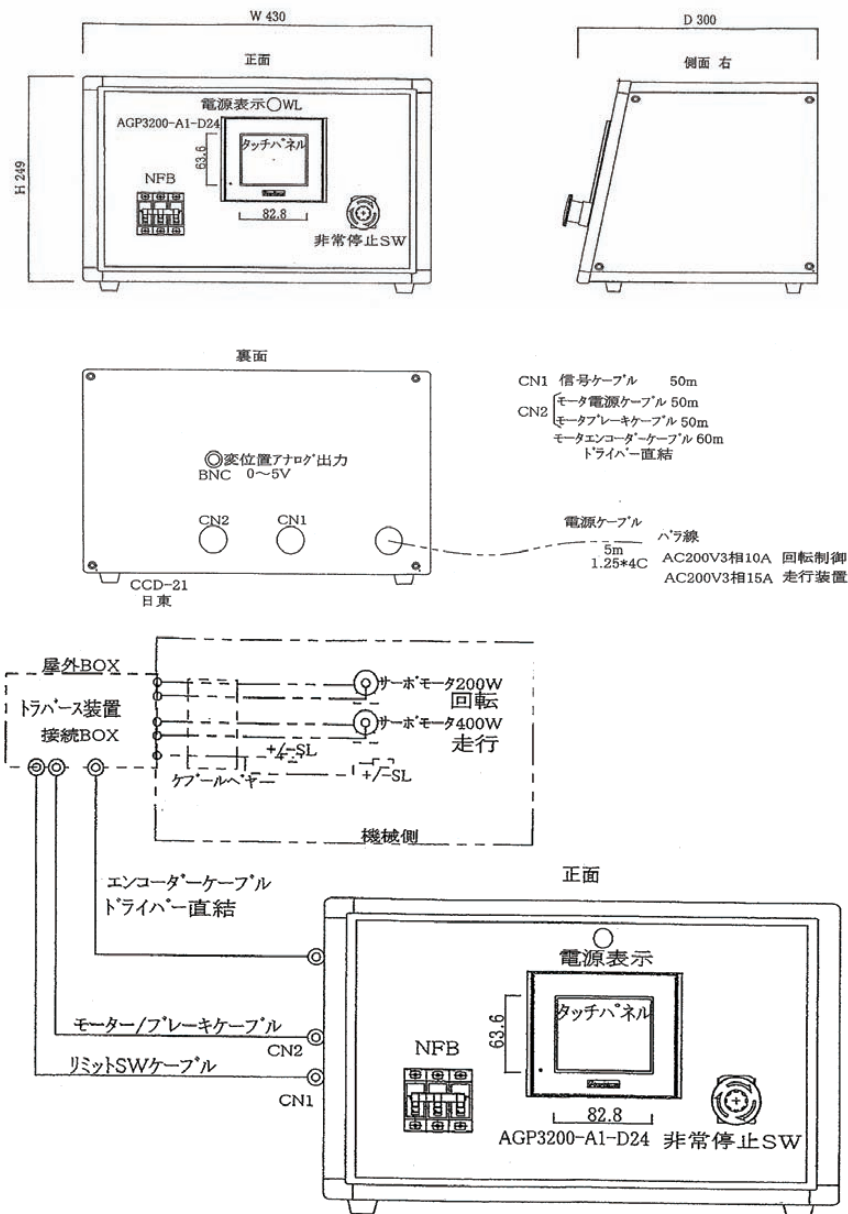


図4.1-2 排気トラバース装置コントローラ

基本的な仕様は直進移動用、回転移動用共に同じであるが、供給電源に関してはそれぞれAC200V3相15AとAC200V3相10Aで異なる。コントローラから入出力される信号ケーブルについては、屋外試験場にてトラバース装置設置場所から計測室まで敷設できるよう50m以上の長さで製作した。コントローラの運転モードについては、停止した位置から相対的に目標距離を設定する方式と、はじめに原点を設定し、各目標距離を絶対的に設定する方式の2通りが選択可能である。また、計測収録装置にて排気方向移動位置および回転角度を計測するため、0-5Vのアナログ出力を持っている。

その他、参考として図4.1-3にトラバース装置電源結線図を示す。

② 全圧全温計測用ピトーレーク

全圧全温計測用ピトーレークの外形を図4.1-4に示す。計測点数は全圧、全温各31点であり、コンビネーション形状(全圧・全温各1点で1セット)を採用した。レークの間隔はテレダイン社の排気データを元に、直径360mmの円内を計測点数15点(中心も含む)で等面積分布に配置する領域と、直径360mmから1200mmの間を計測点数16点で等面積分布に配置する領域の2種類の組み合わせで構成した。長さ1200mmという大型のレークでは1つの領域として等面積分布配置にした場合、排気ガスのコア付近での計測点数が減少してしまう事への対処であった。

回転移動機構リングへのレーク固定の際には、レークに対し直角となる補強クロスを装着し、レークが排気から受ける動圧にも耐えられる構造にしてある。また、排気の熱によるレークの伸びを考慮し、レーク及び補強クロスの端は完全には固定していない。

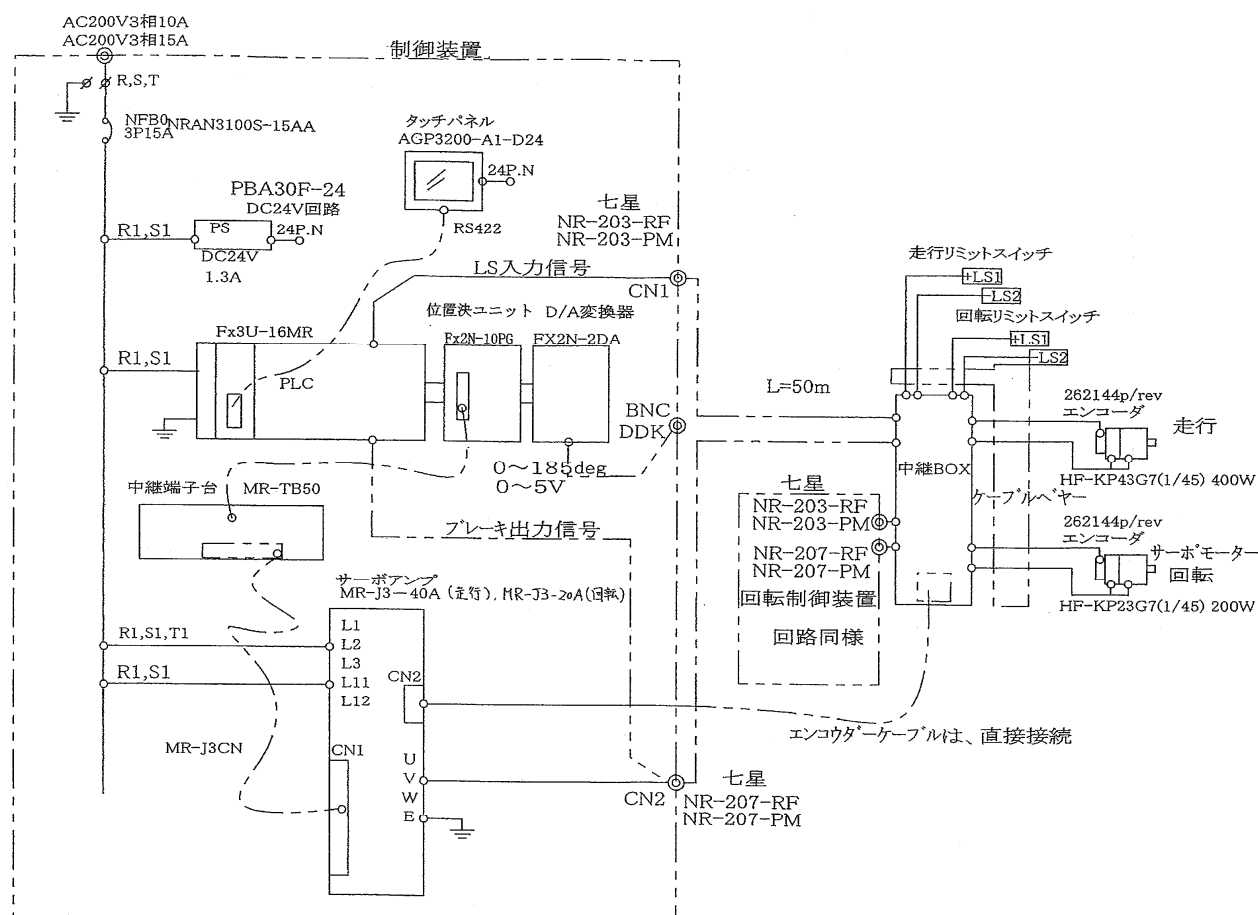


図4.1-3 排気トラバース装置電源結線図

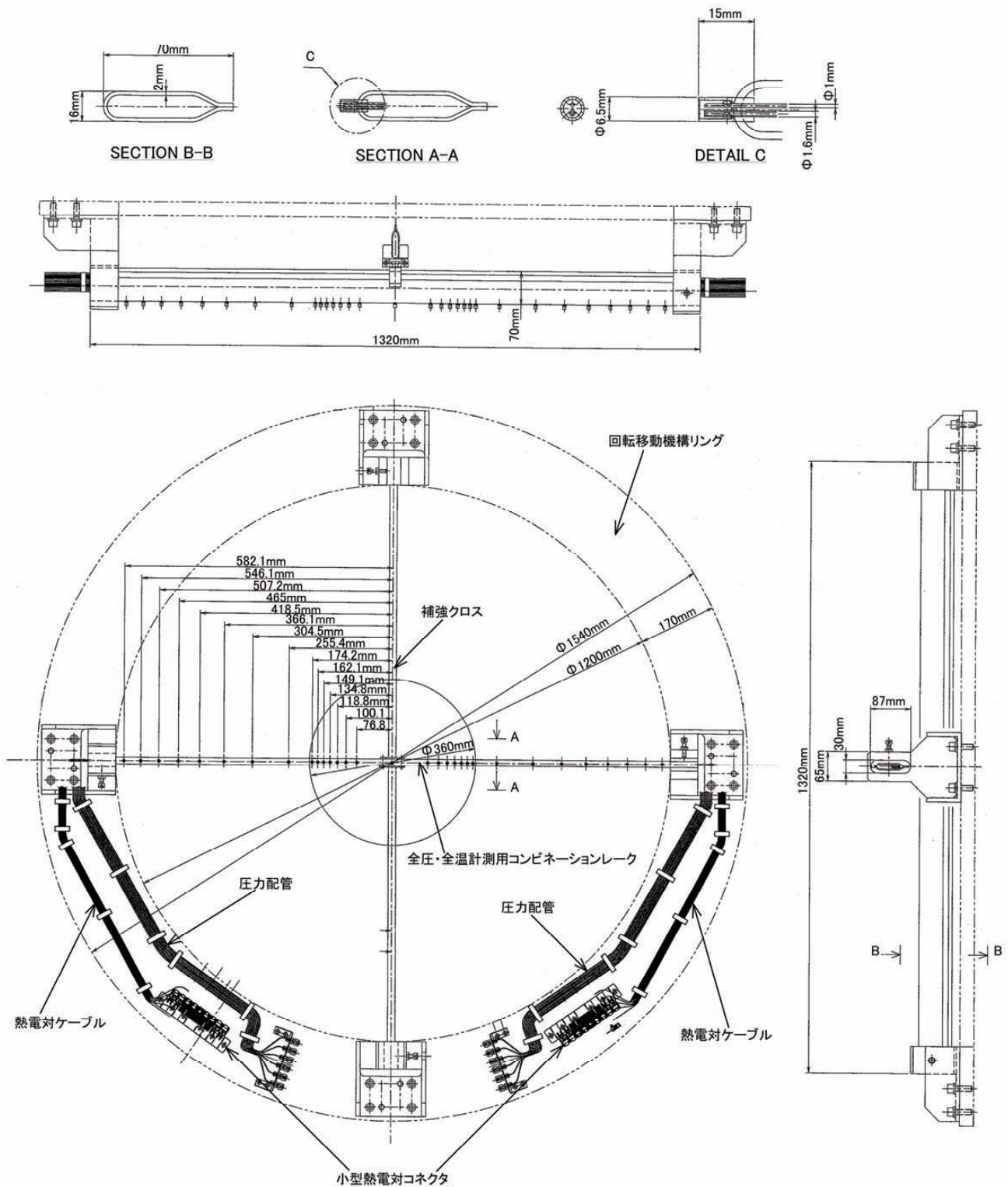


図4.1-4 全圧全温計測用ピトーレーク

② エンジン排気内水噴射用リング

エンジン排気内水噴射用リングを図4.1-5に示す。このリングは、排気トラバース装置の直進移動機構を利用し、排気方向への移動が可能となっている。そのため、排気方向への移動距離および移動速度に関しては、排気トラバース装置の項で述べた仕様とまったく同じである。また水の噴射にあたっては、図4.1-6に示す水供給ポンプを使用した。本ポンプはH13年度に屋内テストセルにてYJ69エンジンを用いた入口水吸い込み試験を実施した際に使用したものである。口径25mm、全揚程50m、揚水量45L/minの丸八ポンプ製作所製2FKV-27M型カスケードモーターポンプと、500Lの水を貯水できる給水タンクが搭載されており、操作盤により水量等のコントロールが可能である。

水噴射用ノズルは、霧のいけうち社製丸底直進ノズル(1/4M CCRP97 S303)と充円錐ノズル(1/4M JJXP040 S303)の2種類用意した。2つのノズルは水噴射の仕方が異なり、直進噴射タイプと拡散噴射タイプである。水噴射リングには噴射方向がエンジン排気の中心に向く様、各ノズルを等間隔に8個取付けた。



図4.1-6 水供給ポンプ

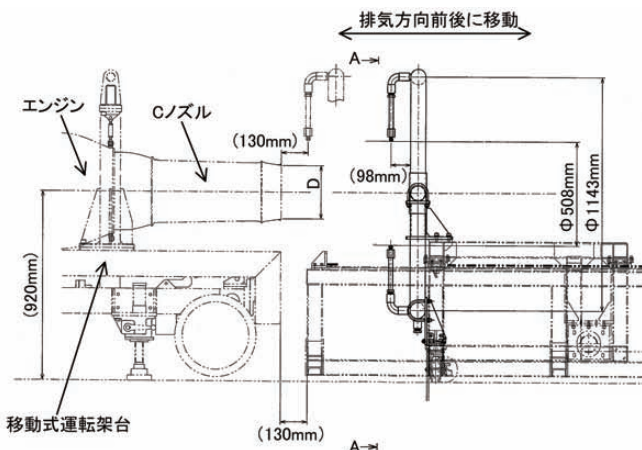
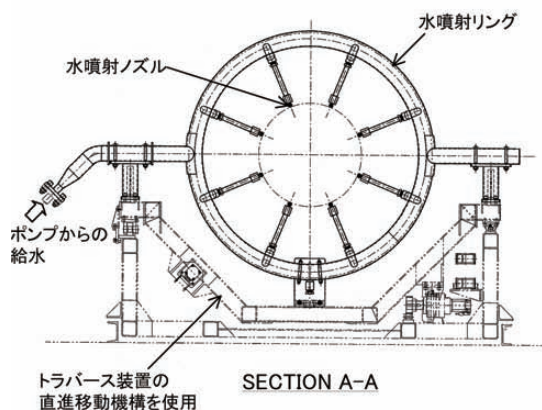


図4.1-5 排気内水噴射用リング

4. 1. 2 計測器材

エンジン性能計測に使用した計測器材および計測項目リストを表4.1-1に示す。計測点数は全94点であり、収録装置に関しては、HIOKI社製メモリハイログ84220-50を2台、ナショナルインスツルメンツ社製PXI-1042Qリアルタイム計測システムを1台、PSI社製圧力スキャニングシステムCANdaqを2台使用した。サンプリング周波数はメモリハイログおよびリアルタイム計測システムは10Hz、圧力スキャニングシステムは5Hzである。

計測器材の校正については圧力をDruck社製圧力校正器DPI605、周波数(回転数、燃料流量)をヒューレットパッカー社製ファンクションジェネレータ33120A、温度その他電流、電圧等を横河電機社製コンパクトキャリブレータCA100で実施した。

騒音計測に使用する器材は、主にマイクロホン、フィルタ付増幅装置、同時集録装置で構成される。マイクロホンはACO社製エレクトレット型1/4inchマイクロホンACO-4156Nを16個、同時集録装置はOROS社製OR36を1台使用した。マイクロホンの校正については、BK社製ピストンホンType-4228 JIS-C-1515を使用し、加振周波数250Hz、音圧124dBの校正音響入力で行った。

4. 1. 3 機材準備作業

調布航空宇宙センター内にて実施される器材準備作業は、器材を現地に搬入する前に確認するための作業である。作業スケジュールは表4.1-2に示す通りであり、期間は7月から8月にかけて計6日間実施した。作業項目としては①から⑥に分類され、それぞれの内容については下記の通りである。

表4.1-1 エンジン性能に関する計測項目リスト

計測番号	測定項目	記録用記号	最小値	最大値	単位	センサ	計測電圧	収録装置
1	回転数	N	0	22150	rpm	MP-8006S	0-2V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
2	推力	Fn	0	2000	kgf	1211-AF-5K	1-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
3	燃料流量	WF	0	3953.5	pph	FT-06	0-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
4	振動(前)	VF	0	5	mil	CEC4-123	0-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
5	振動(後)	VR	0	5	mil	CEC4-123	0-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
6	排気温度	EGT	-100	1350	°C	熱電対(K種)	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
7	潤滑油供給圧	POIL	0	100	PSIG	PT3011A	1-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
8	燃料ブースト圧	PFB	0	100	PSIG	PT3011A	1-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
9	テールパイプ圧	PS7	0	100	PSIG	PT3011A	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
10	エンジン入口温度	T2	-100	300	°C	熱電対(K種)	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
11	潤滑油供給温度	TOIL	-100	300	°C	熱電対(K種)	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
12	圧縮機出口圧	CDP	0	200	inHg	PT3011A	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
13	ベルマウス静圧	PS2W	-50	0	inAq	3051CD	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
14	エンジン入口圧	PT2	-25	0	inAq	3051CD	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
15	スタータ電流	STCURR	0	1000	A		0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
16	スカベンジ温度	Tscav	-100	300	°C	熱電対(K種)	0-10V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
17	排気トラバース装置移動位置	X7pos	0	3	m	排気トラバース装置コントローラからの信号	0-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
18	排気トラバース装置回転角度	X7deg	0	180	deg	排気トラバース装置コントローラからの信号	0-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
19	水噴射装置 水噴射量	WM	0	0.75	kg/s	水噴射装置制御盤からの信号	1-5V	HIOKI 8422-50(1) 及び NI PXI-1042Q
20	圧縮機出口温度	CDT	0	1000	°C	熱電対(K種)	1-5V	HIOKI 8422-50(1), NI PXI-1042Q 及びHIOKI 8422-50(2)
21~26	エンジン出口全圧1~6	PT7.1~PT7.6	0	15	PSIG	PSI ESP-64HD		PSI CANdaq(2) 及び HIOKI 8422-50(2)
27~32	エンジン出口全圧7~12	PT7.7~PT7.12	0	15	PSIG	PSI ESP-64HD		PSI CANdaq(2) 及び HIOKI 8422-50(2)
33~63	排気速度分布計測圧力1~31	PTX.01~PTX.31	0	15	PSIG	PSI ESP-64HD		PSI CANdaq(1)
64~94	排気速度分布計測温度1~31	TTX.01~TTX.31	-100	1350	°C	熱電対(K種)	1-5V	HIOKI 8422-50(2)

表4.1-2 器材準備作業スケジュール

番号	作業内容	7月			8月		
		4	5	6	8	9	20
		水	木	金	水	木	月
①	倉庫からの器材出し	■					
②	エンジン運転制御系統, エンジンデータ計測ライン, 電源ライン繋ぎ込みおよび機能確認	■	■	■			
③	燃料ポンプ繋ぎ込みおよび機能確認		■				
④	梱包作業			■		■	
⑤	水噴射装置繋ぎ込み, 機能確認					■	
⑥	荷出し作業						■

① 倉庫からの器材出し

屋外試験で使用する器材類は、ほぼ航空推進8号館の3F倉庫、1F計装室に保管されている。本作業ではそれらの器材を1F試験チャンパー前に集合させ、使用する器材の整理を行った。

② エンジン運転制御系統, エンジンデータ計測ライン, 電源ライン繋ぎ込みおよび機能確認

本作業ではエンジン運転操作盤、計測パネル(図4.1-7)、それらとエンジンとの間の信号を中継、変換する中継パネル(トランスデューサパネル、ディストリビューションパネル、ロードバンク等 図4.1-8)、データ収録器材等の繋ぎ込みを実施し、擬似信号入力による各器材の機能確認および計器類の校正作業を実施した。機能確認内容の詳細およびその結果についてはAppendix-1に示す。機能確認の結果、運転制御系、計測系ともに問題なく作動することが確認された。



図4.1-7 エンジン運転操作盤(左)と計測パネル(右)



図4.1-8 中継パネル

③ 燃料ポンプ繋ぎ込みおよび機能確認

本作業ではエンジンへの燃料供給圧を昇圧するために使用する燃料ポンプ(図4.1-9)の繋ぎ込み, エア抜き作業, および機能確認運転を実施した. エア抜きはポンプ入口, 出口両端のホースをJET-A1で満たされたペール缶に投入し, ポンプを寸動運転することにより実施した. エア抜き後機能確認運転を実施し, ポンプは正常であることを確認した.



図4.1-9 燃料ポンプ

④ 梱包作業

本作業では荷出し作業を行うための各器材の梱包作業を実施した. 各器材の梱包には図4.1-10に示すようにプラスチックコンテナやワイヤパレットを使用し, 大きな器材に関しては必要箇所を緩衝材等により保護した. エンジンに関してはウレタン緩衝材が入っている専用の木箱(もしくは頑丈な段ボール箱)を使用した.



図4.1-10 各器材の梱包

⑤ 水噴射装置繋ぎ込み, 機能確認

本作業では図4.1-6に示す水供給ポンプと図4.1-5に示す水噴射リングを接続し, 水供給ポンプの操作方法の確認を行うとともに噴射流量の確認および各ノズルの噴射状況の確認を行った. 作業は航空推進8号館外の道路にて実施した(図4.1-11). 機能確認の結果, 水量, 吐出圧ともに問題なく, ノズルからの水噴射状態も良好であることが確認された.



図4.1-11 水噴射装置機能確認

⑥ 荷出し作業

本作業は現地試験場へ器材を搬送する運送会社(今回の試験ではコクサイエアロマリン(株)に依頼)が, トラックに器材を積込む作業である. 使用したトラックの積載重量は10t車2台, 4t車1台であり, いずれもエアサス仕様のものである.

4. 1. 4 エンジン機能確認運転

エンジン機能確認運転は, 現地試験場にエンジンを持込む前にエンジンの健全性を確認する試験である. 試験は航空推進8号館の高空性能試験設備にて, YJ69-T406 1号機エンジン(S/N=T-E430242)にCノズルを装着した形態で実施された. 試験内容は①アイドル到達・エマーストップ確認試験, ②95%レーティング到達機能確認試験の2つである.

① アイドル到達・エマーストップ確認試験

本試験ではエンジンがアイドル(50%レーティング)に到達できること, 緊急用エンジン停止ボタン(エマーストップボタン, 通称エマスト)を使用して正常にエンジンが停止できることを確認するのが目的であった. 試験山形(エンジン試験内容をエンジンレーティングの時系列変化で表わしたものを)を図4.1-12に示す. 本来試験山形は試験開始前に作成され, それを元に試験を進めていくためのものであるが, 本稿ではどの様な流れで試験を進めたかの説明に使用するため, 試験途中での内容変更も反映した実績ベースでの山形を掲載する.

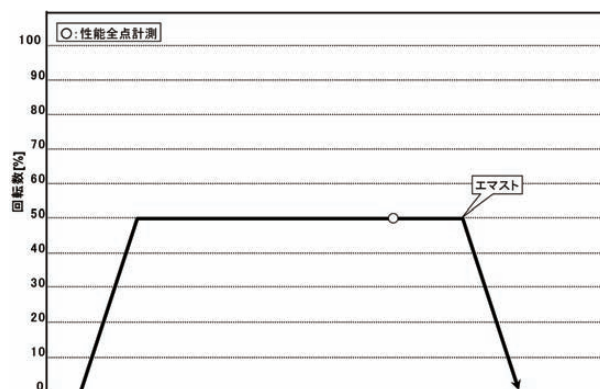


図4.1-12 アイドル到達確認試験山形

エンジンスタートしてからアイドルに到達後, 4分後性能全点計測(主要パラメータの計測値をログシートに記録, および20Hzで計測しているトレンドデー

タの10秒間平均値を計測システムに収録(CPU計測))を行い、エマストによりエンジンを停止させた。その結果を図4.1-13に示す。以降記載するエンジン性能データに関してはすべて、試験経過時間に対するエンジンレーティング、推力、燃料流量、排気温度変化を表す。

エンジン性能は大気圧力、大気温度によって大きく影響を受けることから、計測したデータを海面上標準大気状態での値に修正したものを使用する必要がある。その計算式を以下に示す。

$$\text{大気圧力比 } \delta = \frac{P}{P_0}$$

P_0 : 海面上での標準大気の絶対圧力

P : 測定時の大気(エンジン入口)の絶対圧力

$$\text{大気温度比 } \theta = \frac{T(K)}{T_0(K)}$$

T_0 : 海面上での標準大気の絶対温度

T : 測定時の大気(エンジン入口)の絶対温度

$$\text{修正推力 } F_{nc} = \frac{F_n}{\delta} \text{ [kgf]}$$

$$\text{修正回転数 } N_c = \frac{N}{\sqrt{\theta}} \text{ [rpm]}$$

$$\text{修正レーティング } N_{cr} = \frac{N_c}{N_{\max}} \text{ [%]}$$

$$\text{修正排気ガス温度 } EGT_c = \frac{EGT}{\theta} \text{ [K]}$$

$$\text{修正燃料流量 } W_{fc} = \frac{W_f}{\delta \sqrt{\theta}} \text{ [pph]}$$

$$\text{修正燃料消費率 } SFC_c = \frac{SFC}{\sqrt{\theta}} \text{ [kgf/hr/kgf]}$$

F_n : 測定時の推力

N : 測定時の回転数

N_{\max} : エンジンの定格回転数

EGT : 測定時の排気の絶対温度

W_f : 測定時の燃料流量

また、実験に使用しているエンジンの都合上、計測値のそのものの値を掲載することが出来ないため、本稿ではテレダイン社が提示する90%レーティング

の各種値により無次元化する。

性能結果より、計測データに問題はなく、エマストで正常にエンジンが停止することも確認された。

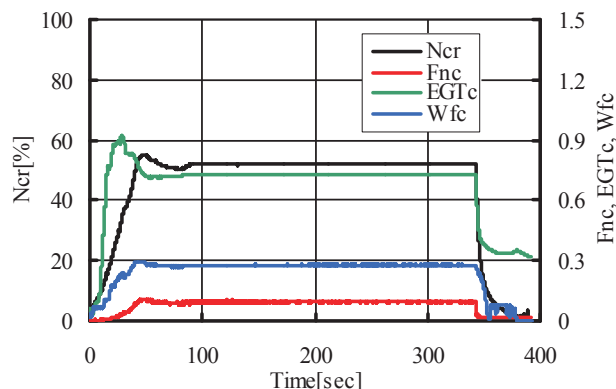


図4.1-13 エンジン性能計測結果

(アイドル到達・エマスト確認試験)

② 95%レーティング到達機能確認試験

本試験は図4.1-14に示す山形に従い、各レーティングにおいて性能計測を行い、エンジン特性および運転制御に問題ないことを確認するのが目的であった。

アイドルから70%レーティングまでは10%刻みで、70%レーティングから95%レーティングまでは5%刻みで変化させ、各レーティング到達後3分後に性能全点計測を行った。ただし、95%レーティングに関しては過去に燃焼器を修理した都合上、保持制限時間を設けているため、30秒後CPU計測のみを行った。以降はダイブ減速、アイドルから90%レーティングまで20秒間での加減速、180秒間緩加速、アイドルでの5分間クーリング運転を行って、エンジンを停止した。その結果を図4.1-15に示す。95%レーティングまで到達できることを確認し、各レーティングにおいてもエンジン特性上問題ないことが確認された。

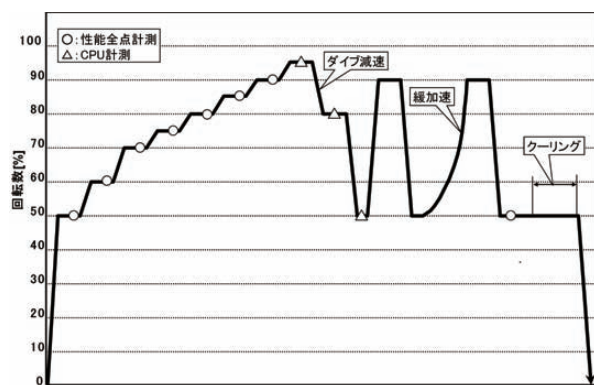


図4.1-14 95%レーティング到達機能確認試験山形

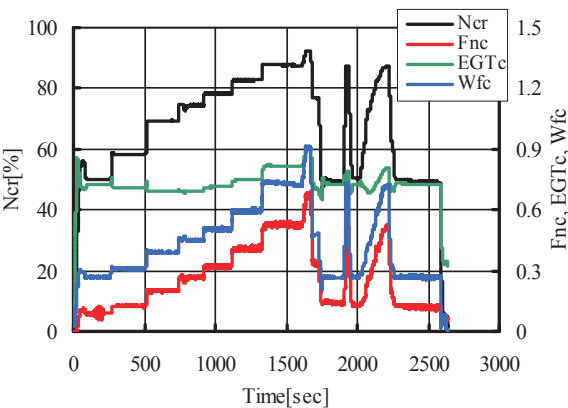


図4.1-15 エンジン性能計測結果
(95%到達機能確認試験)

表4.2-1 能代試験準備作業スケジュール

番号	作業内容	8月		
		21 火	22 水	23 木
①	荷受作業			
②	運転場の設置			
③	運転計測室の設置		消防検査	
④	燃料タンクの設置・消防検査			
⑤	電源ライン敷設・繋ぎ込み			
⑥	燃料給油, 燃料ポンプ, プロアの設定・調整			
⑦	エンジンを架台へ搭載および仮設運転場へ設置			
⑧	配管・配線敷設作業			
⑨	器材動作確認, 信号入出力確認, ロードセル校正			
⑩	防護壁の設置			

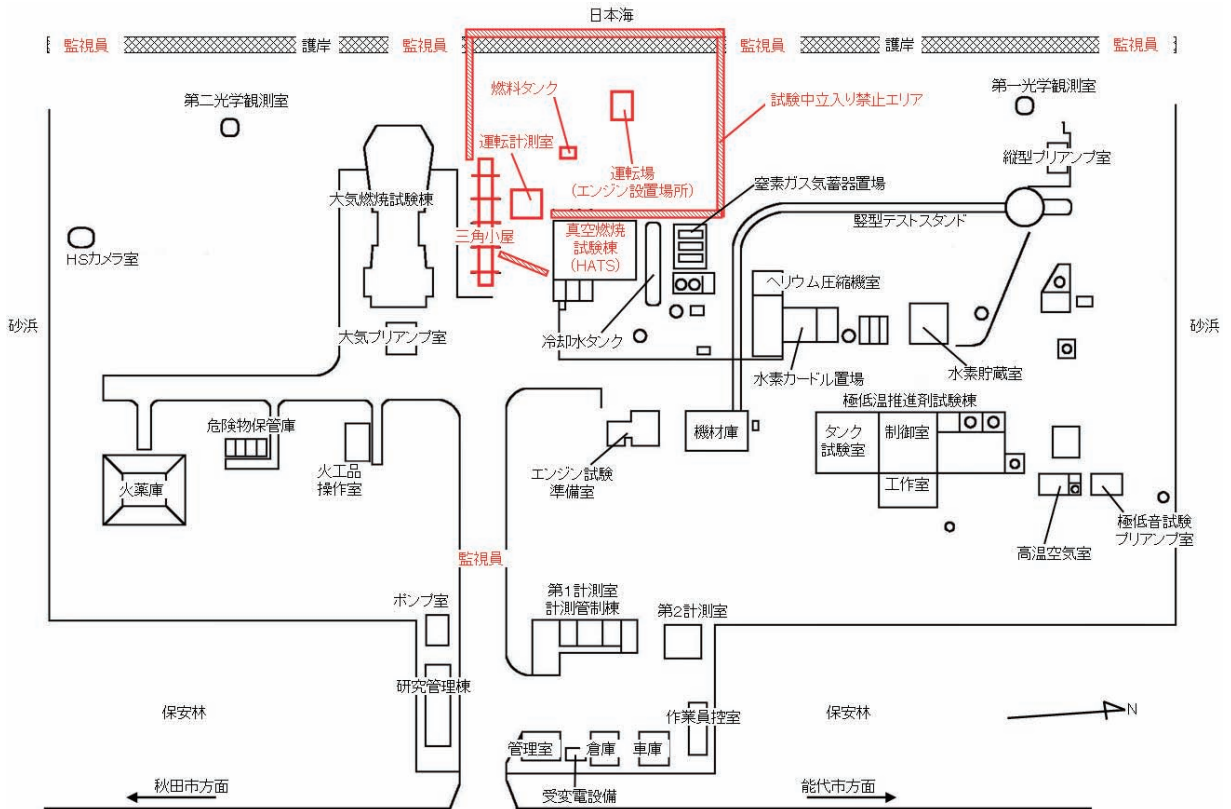


図4.2-1 能代多目的実験場建屋配置図

4. 2 能代屋外エンジン運転試験

まず、本試験を実施するうえで重要となる能代多目的実験場の建屋について図4.2-1に示す。赤字で記載されているものが、試験に関係する場所である。

高空燃焼試験設備(HATS)および三角小屋は主に器材のセッティング作業場、器材置場、および電源系統の供給建屋として利用した。また、エンジン試験を実施するための場所として、HATS西側のスペースを利用し、運転計測室および運転場を設置した。エンジン試験を実施する際には、立入り禁止エリアを設定し、エリア境界および試験場の敷地境界付近に監視員を配置した。

以降では上記建屋において行う作業内容および実験内容について述べる。4.2.1章では試験期間開始前の準備作業について、4.2.2章では試験体制について、4.2.3章では試験期間中に実施した各試験について、試験形態変更作業を含め試験結果の概要について述べる。

4. 2. 1 試験準備作業

試験準備作業は8月21日から8月23日午前まで実施され、その内容およびスケジュールを表4.2-1に示す。また、準備作業により各器材等を設置した時のレイアウトを図4.2-2に示す。以下に準備作業内容①から⑩について述べる。

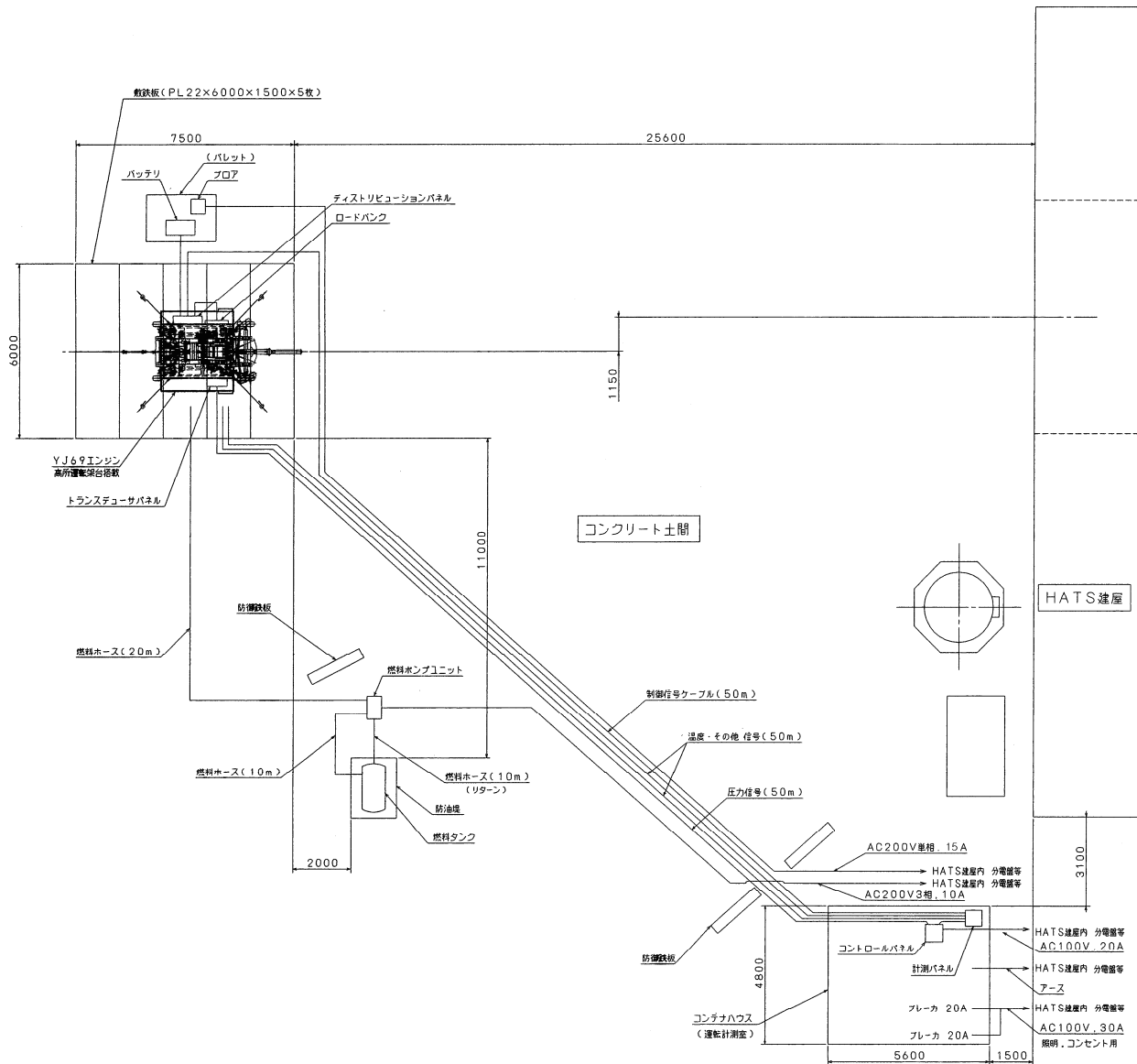


図4.2-2 器材配置レイアウト(高所形態)

① 荷受作業

図4.2-3に荷受作業時の様子を示す。トラックから降ろされた器材類はHATSおよび三角小屋に搬入された。

② 運転場の設置

運転場はエンジン架台を設置する場所であり、HATS西側のスペースを利用した。エンジン架台を固定する方法として、コンクリートの地面に直接アンカーを打ち込む手段は使用せず、敷き鉄板(6000mm×1500mm×22mm)を5枚並べ溶接し、その上に固定用の5枚のアイプレートを取り付ける方法を選択した。そのため、最初に敷き鉄板同士を溶接する作業を実施し、エンジン架台を仮置きした状態でエンジンの位置出しを行い、架台を撤去した後にアイプレートの位置決めおよび溶接を実施した。またトラ



図4.2-3 荷受作業

バース装置を固定するためH鋼2本もレール状に溶接した。エンジンの位置出し作業終了後には、騒音計測用マイクロホンの位置出し作業も平行して実施された(図4.2-4)。



図4.2-4 運転場の設置作業

③ 運転計測室の設置

運転計測室は、エンジン運転試験時、試験関係者がエンジン操作やデータ計測を行うための部屋である。部屋はレンタルのコンテナハウス2連棟(4坪)であり、8月の暑い天候を考慮し、エアコンも装備した。(図4.2-5)。



図4.2-5 運転計測室

④ 燃料タンクの設置・消防検査

燃料タンクはサンダイヤ製AH-990で、容量は942L、防油堤は同社のHA09-1813で、容量1160Lを使用した(Appendix-2)。エンジンレーティングを90%で運転した場合、このタンク1台で約1時間10分程度の運転が可能である。燃料タンクはエンジンから約15m離れた場所に設置した。燃料タンクの運用に当たっては、能代地区消防署の立会い検査を受け(図4.2-6)、了承された上で使用した。



図4.2-6 消防検査

⑤ 電源ラインの敷設・繋ぎ込み

電源ラインは、HATSの分電盤と三角小屋の分電盤の2箇所から取っている。各機器が使用している電源ラインの取得場所を表4.2-2に示す。HATSから屋外に引き出すラインは、建屋西側にあるケーブル用ダクトを使用し、三角小屋から屋外に引き出すラインは、北側扉を使用した。

⑥ 燃料給油、燃料ポンプ、ブローの設置・調整

燃料のJET-A1はドラム缶単位で購入し、図4.2-7に示すように、ポンプを用いて燃料タンクに給油した。またAppendix-3に示すような系統図に基づき、燃料タンクから燃料ポンプ(Appendix-4)までのラインを繋ぎ込み、ポンプの動作確認を行うと共にエア抜き作業を行った。

また、エンジンのスタータジェネレータおよび可変ノズルのアクチュエータ冷却用として使用したブロー(昭和電機製 ガストブロー U2V-220)を所定の位置に設置するとともに、動作確認を実施した。



図4.2-7 燃料給油作業

表4.2-2 各機器が使用する電源の取得場所

機器名称	電源取得場所	電圧等
仮設運転計測室内照明用ブレーカ	HATS内西側壁南側分電盤	AC100V 30A 1系統(ハウス内で2系統に分岐)
仮設運転計測室内計測制御装置	HATS内電気室分電盤	AC100V 20A 1系統
燃料ポンプユニット	HATS内西側壁北側分電盤	AC200V 3相 10A 1系統
ブロー	HATS内西側壁北側分電盤	AC200V単相 10A 1系統
仮設運転計測室	HATS内電気室一種接地分電盤	アース 1本
仮設運転計測室エアコン	三角小屋分電盤	AC100V単相 2本
排気トラバース装置	三角小屋分電盤	AC200V単相 2本
水供給ポンプ	三角小屋分電盤	AC200V単相 1本

⑦ エンジンを架台へ搭載および仮設運転場へ設置

最初の試験形態が高所であるため、エンジンを架台に搭載する作業は、作業効率の良いHATS内部でクレーンを使用して実施された。まず、エンジンおよび可変ノズルを低所架台に搭載し、さらに低所架台を高所架台に搭載した(図4.2-8)。

搭載が完了した高所架台を牽引車により運転場付近まで移動させ、手押しにより微調整を行い、架台を固定した。固定には、チェーンブロックおよびテンションロッドが使用された。



図4.2-8 高所架台へのエンジン搭載作業

⑧ 配管・配線敷設作業

運転計測室から運転場器材・エンジンへの計測制御信号ケーブルの敷設、燃料ポンプからエンジンへの燃料ラインの敷設、ブローからエンジンまでの冷却空気用ラインの敷設作業を実施した。

⑨ 器材動作確認、信号入出力確認、ロードセル校正

全制御系、計測系ラインを接続後、駆動機器の動作確認および計測信号の入出力確認を実施した。また、ロードセル等の校正作業も実施した。

⑩ 防護壁の設置

万が一エンジンバーストにより回転物が飛散した場合、重大な事故につながる可能性もあるため、図4.2-9に示す鉄板を燃料タンクの前、および運転計測室の前に設置した。

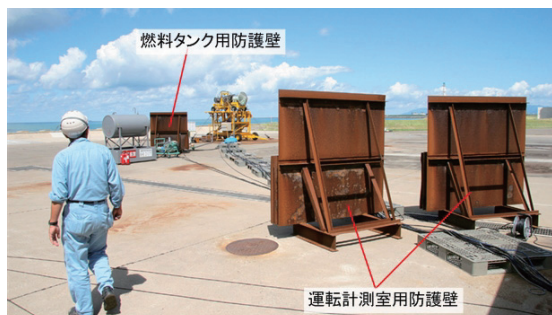


図4.2-9 防護壁

4.2.2 試験体制

試験の実施に当たっては試験効率および安全上の事を考慮し、各班に分かれ作業を行う。各班の人数構成を表4.2-3に、各班の配置構成を図4.2-10に示す。

班は9つから構成され、実験隊員数は機構内の者17名、機構外の者7名である。以下に各班について説明する。

表4.2-3 試験体制時の各班の隊員数

	機構内	機構外
実験主任	1	0
保安主任	1	0
エンジン運転班	0	4
エンジン性能計測班	3	0
騒音計測班	5	0
映像記録班	1	0
試験記録班	1	0
試験器材操作班	1	1
屋外監視班	4	2
計	17	7

- ・ 実験主任：実験全体の取り纏めであり、また非常事態が発生した場合、各連絡先へ通報を行う責任者。
- ・ 保安主任：実験隊員に作業時の安全行動を徹底させるとともに、Appendix-5に示す様なタイムスケジュールを作成し、HATS 2Fより試験前準備作業からエンジンスタート直前までおよびエンジン停止から総員退避解除指令までの作業指示を各班員に構内放送等により行う。
- ・ エンジン運転班：エンジン運転を行うオペレータと性能監視およびログを書く者、エンジンスタートからの停止までの間の運転指揮を行う者で構成される。
- ・ エンジン性能計測班：エンジン性能に関する計測および排気トラバース試験時の排気特性計測、水噴射騒音計測時の水噴射量計測を行う。
- ・ 騒音計測班：各種試験において、定点マイクロホンによる放射音計測、および遠隔騒音計測システムを用いた放射音計測を行う。
- ・ 映像記録班：エンジン側方および斜め後方からビデオカメラにより撮影された映像を運転計測室内で録画しながら監視を行う。
- ・ 試験記録班：試験内容および試験中に発生した事象について時系列に記録を行う。
- ・ 試験器材操作班：可変排気ノズルの開度操作および排気トラバース装置の操作を行う。
- ・ 屋外監視班：4.2章で多少述べたが、エンジン周りの監視を行う者と、多目的実験場の敷地境界で一般者が間違っ入って来ないように監視する者、東側ゲート付近において実験隊員以外の

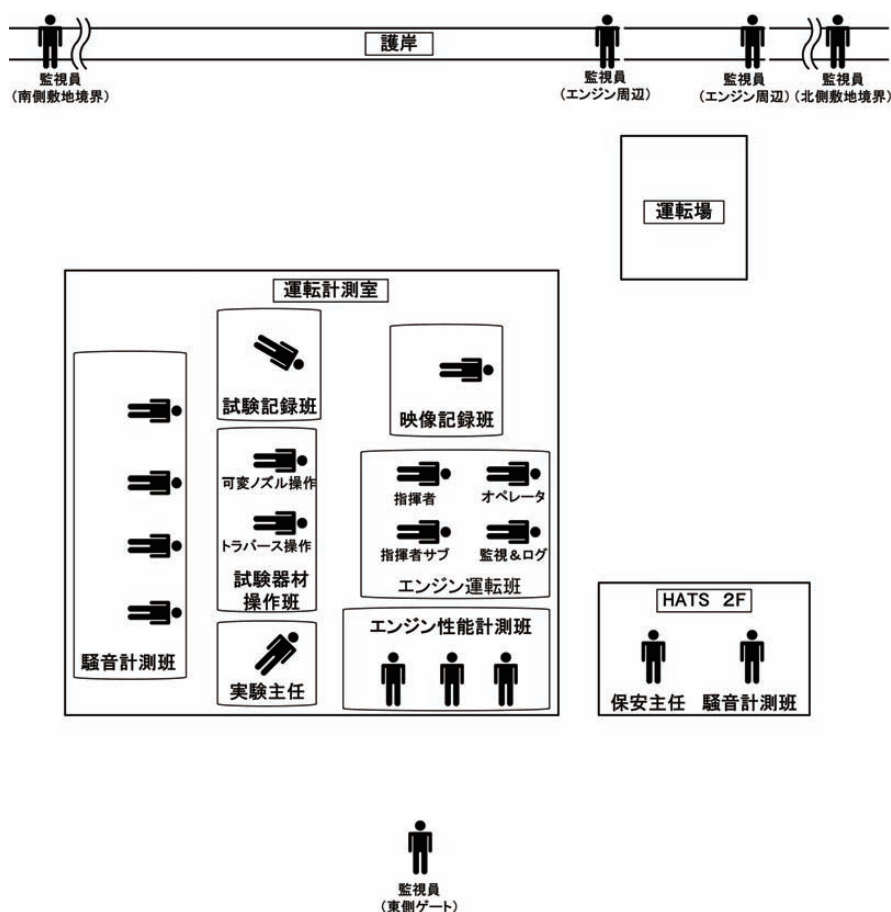


図4.2-10 試験体制

者が出入りするのを監視する者で構成される。屋外での監視業務については、試験実施時期が8月で気温が非常に高かったため、疲労状況に応じて適宜交代を行い、作業を進めた。

4. 2. 3 試験実施結果

能代多目的実験場では、エンジン機能確認試験を含め5種類の試験を実施した。各試験のエンジン性能計測に関する系統図を1つにまとめて表したものを図4.2-11に示す。この中で試験形態によって変更が生じる箇所を説明する。

高所形態での騒音計測試験中は、排気ノズル内圧力を計測するため、①のラインに切り換え計測を行った。その際、トラバース装置は騒音計測に影響があるため運転場に設置しておらず、また水供給ポンプも使用しないため設置しなかった。低所での排気トラバース試験中は②のラインに切り換え、トラバース装置に装着されたピトーレーク全圧の計測を行った。エンジン排気内水噴射騒音計測試験では、①、②両ラインとも使用しなかった。

本稿では各試験についてその内容およびエンジン特性データを含めた試験結果の概要を記載する。騒音計測結果については、オーバーオール値を掲載す

ることとし、周波数解析等を行った詳細な計測結果については別の報告書で述べることとする。

① エンジン機能確認試験

エンジン機能確認試験は、アイドル回転数到達を確認するアイドル確認試験と、95%回転数到達を確認する95%確認試験の2つを行った。試験は高所可変ノズル形態で行った。各試験の試験山形を図4.2-12、4.2-13、試験風景を図4.2-14に示す。

アイドル確認試験はアイドル回転数到達後、振動、油温、排温等が正常であることを確認し、性能全点計測(エンジン班では主要パラメータの計測値をログシートに記録、エンジン性能計測班はトレンドデータの10秒間平均値の収録(CPU計測))終了後、エマストによりエンジンを停止させ、エマスト機能が正常であることを確認した。

95%確認試験は、アイドル到達後90%レーティングまで階段状にレーティングを変化させ、各レーティングにて、性能全点計測および騒音計測を実施した。途中80%レーティングにてエンジン回転が安定しなかったため、83%レーティングにて計測を実施した。90%レーティング確認後、95%レーティングまで上昇させ、騒音計測とCPU計測のみを行った。

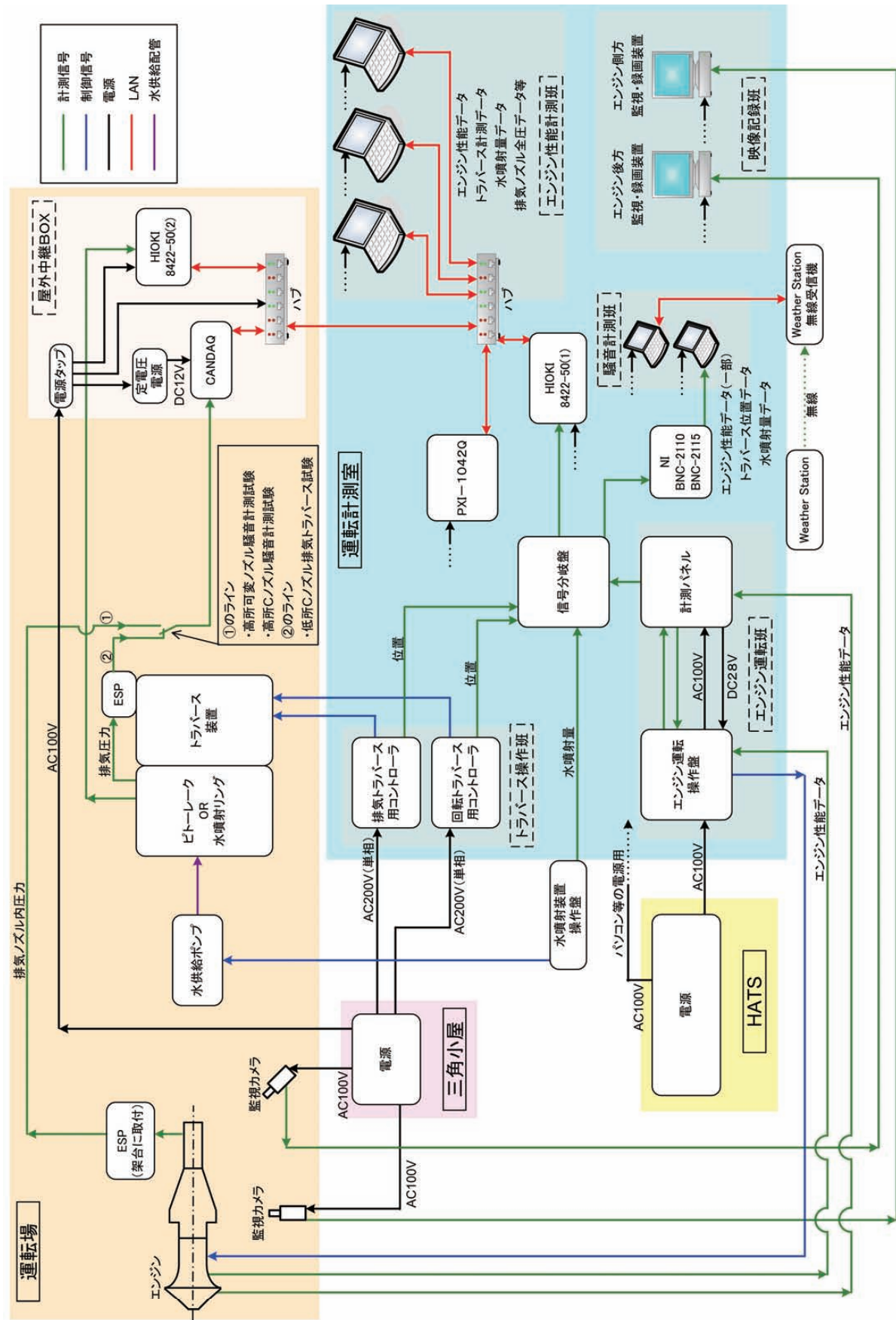


図4.2-11 エンジン性能計測系統図

減速行程では途中ダイブ減速を実施し、エンジンクーリング後、性能全点計測および騒音計測を実施しエンジンカットを行った。

図4.2-15, 4.2-16にエンジン性能計測結果を示す。各種計測値については4.1.4章で述べた通り、修正および無次元化を行った値である。95%確認試験時80%近傍において回転数が安定しなかった事象が、性能計測結果からも確認できた。ただし、騒音計測で重要となる90%以上のレーティングにおいては安定していたため、今後の試験遂行に問題ないと判断した。

騒音計測においては図4.2-17に示す通り、エンジンを中心に半径15mの円周上に入口側を0°とし10°間隔に160°まで計16個のマイクロホンを設置した。以降述べる高所可変ノズル騒音計測試験、高所Cノズル騒音計測試験もこのマイクロホン配置により計測を行っている。本試験において騒音計測は器材のチェック的な位置付けのため、ここでは結果について特に触れない事とする。

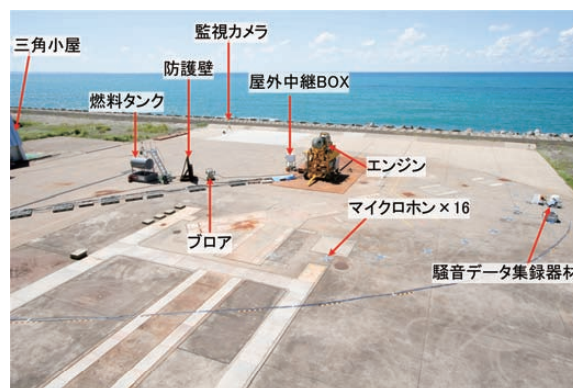


図4.2-14 高所形態での試験風景

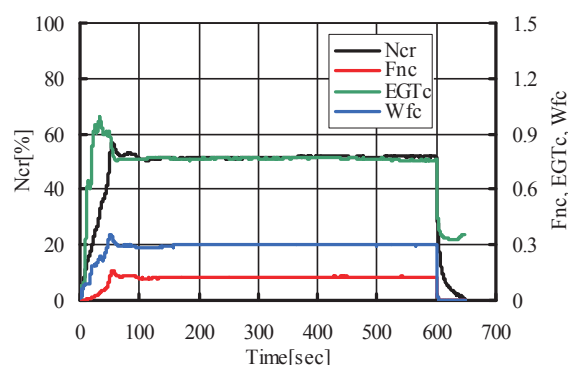


図4.2-15 エンジン性能計測結果(アイドル確認試験)

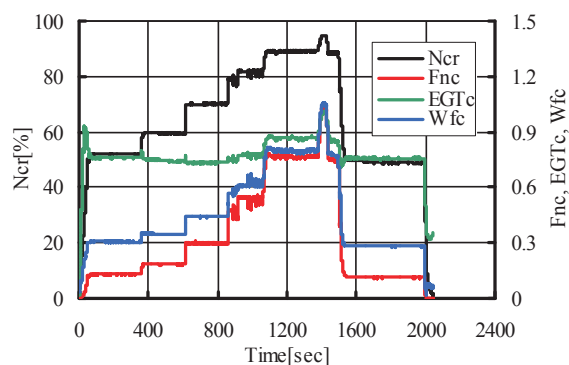


図4.2-16 エンジン性能計測結果(90%確認試験)

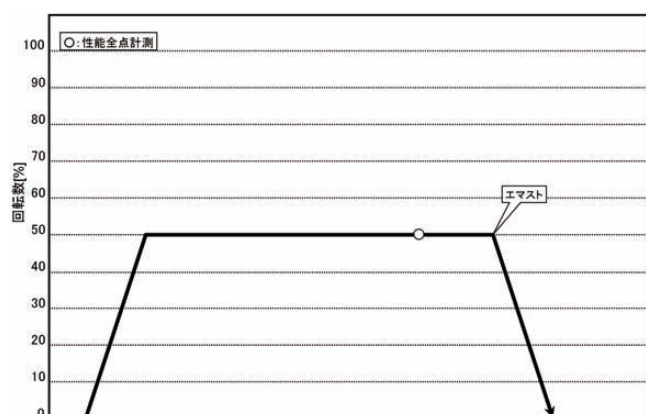


図4.2-12 アイドル確認試験山形

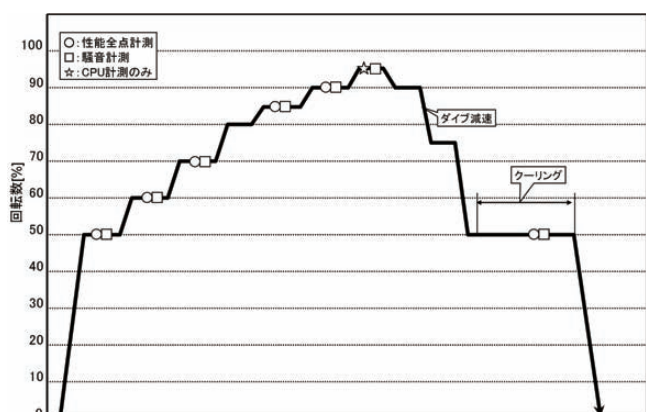


図4.2-13 95%確認試験山形

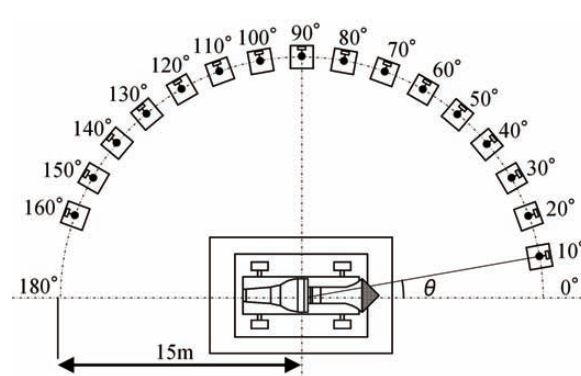


図4.2-17 騒音計測用マイクロホン配置

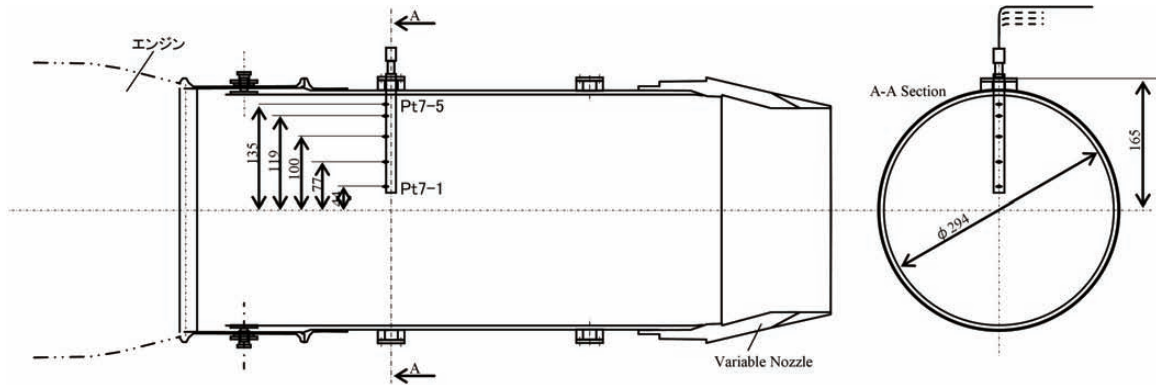


図4.2-18 可変ノズル内ピトーレーク

② 高所可変ノズル騒音計測試験

本試験は、主に可変ノズル開度と騒音との関係を調べるために実施した。特に前年度計測を行わなかったノズル開度40%以下について重点的に行うと共に、本供試エンジンをを用いた試験としては初めてとなる95%レーティングでの騒音データ取得を行った。また、排気ノズル内の特性を把握するため、図4.2-18に示すピトーレークを排気ノズル内に取り付け全圧計測を実施した。

図4.2-19に試験山形を示す。90%レーティングで可変ノズル開度 0, 3, 5, 10, 20, 30, 40, 80, 100%に設定し、性能全点計測および騒音計測を実施した。またノズル開度を0, 40%に設定し上、95%レーティングで30秒保持を行い、騒音計測およびCPU計測を実施した。

図4.2-20にエンジン性能計測結果を示す。可変ノズル開度を大きくするとエンジン回転数は上昇するが、図に示す通り一定を保持している。これはPIDによる回転数一定制御をかけているためである。この場合、開度を大きくするにつれて推力、排気温度および燃料消費率が小さくなる。図4.2-21に示すノズル内全圧Pt7をエンジン入口全圧Pt2で無次元化した値についても推力と同様の傾向が見られた。また、ノズル中心に一番近いPt7-1(中心より44mm)で全圧が一番低くなる傾向が見られるが、これはエンジンのテールコーンによる圧損が原因と思われる。

図4.2-22に騒音計測結果を示す。開度を大きくすると騒音のオーバーオール値も減少し、開度0%と40%で比較した場合、95%レーティングでは3.7%, 90%では2.9%低下しており、高レーティングの方が騒音低減効果が大きかった。ただし、本稿ではグラフの掲載はしないが、単位推力あたりの騒音レベルについては、開度を大きくするほど大きくなる傾向が見られた。

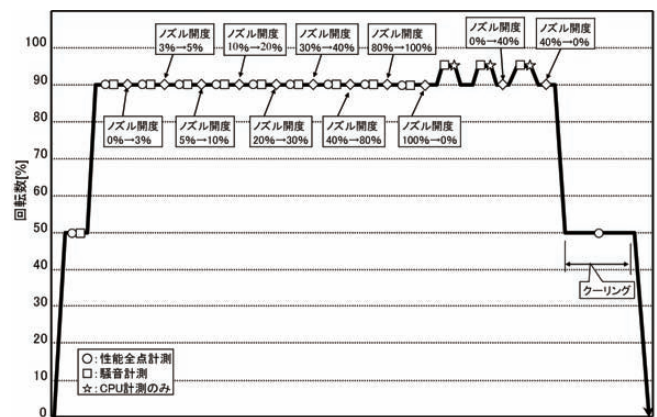
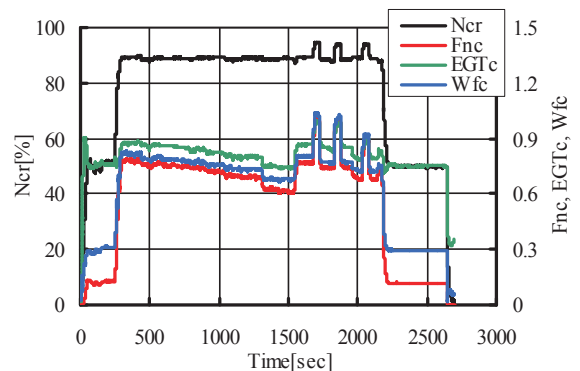
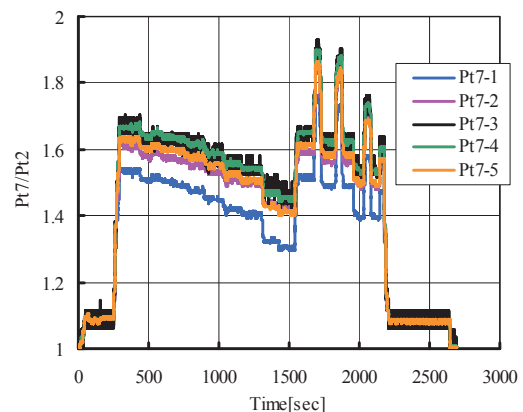


図4.2-19 高所可変ノズル騒音試験山形

図4.2-20 エンジン性能計測結果
(高所可変ノズル騒音計測試験)図4.2-21 ノズル内全圧計測結果
(高所可変ノズル騒音計測試験)

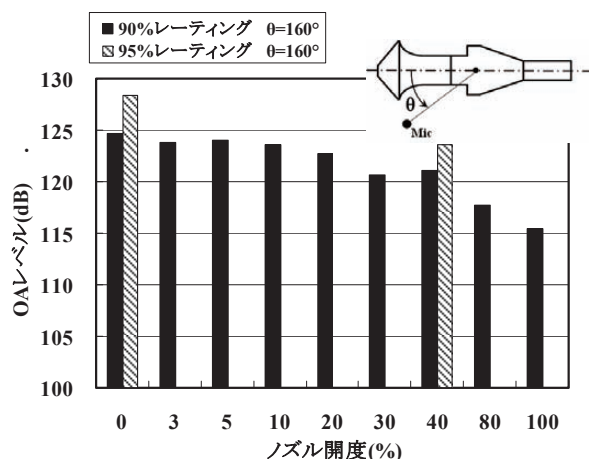


図4.2-22 騒音計測結果

(高所可変ノズル騒音計測試験)



図4.2-23 ノズル形態変更作業

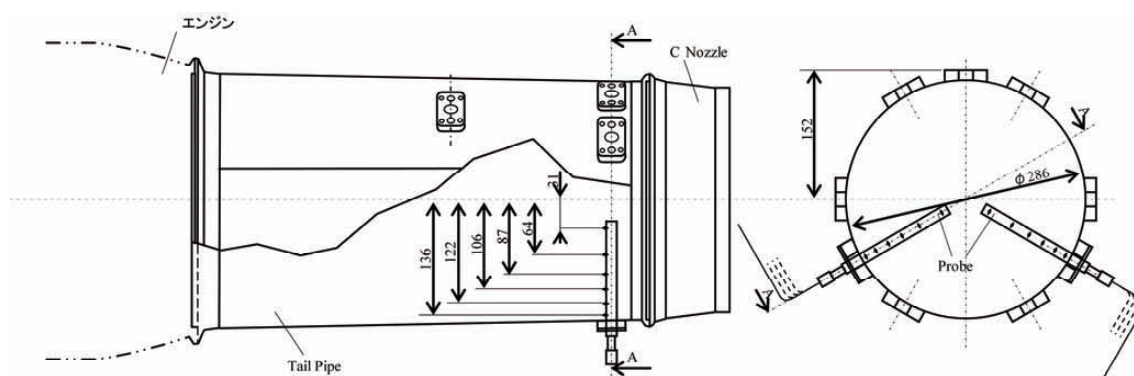


図4.2-24 Cノズル内ピトーレーク

③ 高所Cノズル騒音計測試験

本試験を実施するにあたり、まず可変ノズルからCノズルへの形態変更を実施した。高所架台を移動させずに重量物である可変ノズルを取り外すため、ユニックを利用した。その時の様子を図4.2-23に示す。Cノズルは軽量物であるためユニックを使用せずに取り付けた。また、Cノズルの搭載にあたっては、ノズル内全圧計測用として図4.2-24に示す4時、8時の位置に2本ピトーレークを取り付けた。

Cノズル高所形態での騒音計測試験は以前にも実施しているが、今回初めて95%レーティングでの屋外運転を実施するため、基準データの取得を主目的として実施した。

図4.2-25に本試験の山形を示す。50%レーティングから70%レーティングまで10%刻みで上げたところ、70%レーティング付近において回転数が安定しなかったため、一気に85%までレーティングを上げた。その後は5%刻みで95%レーティングまで上げた。各レーティングにおいては性能全点計測またはCPU計測および騒音計測を実施した。以降は90%レーティングにおいて再度計測を実施し、エンジン停止手順を行った。

図4.2-26から図4.2-28にエンジン性能計測結果、ノズル内全圧計測結果、騒音計測結果を示す。各レークはそれぞれ最も中心に近いものをPt7-1, Pt7-7、ノズル壁面に最も近いものをPt7-6, Pt7-12とした。全圧は4時、8時双方同じ傾向を示しており、ノズル中心に近いPt7-1, Pt7-7で最も全圧が低くなった。後視4時方向のPt7-5, 6がグラフ上に存在しないが、これはセンサーのトラブルにより計測できなかったためである。騒音計測結果については、各レーティングにおける音圧レベルの違いが一番大きくあらわれた $\theta = 120^\circ$ 方向についてのオーバーオール結果を示している。

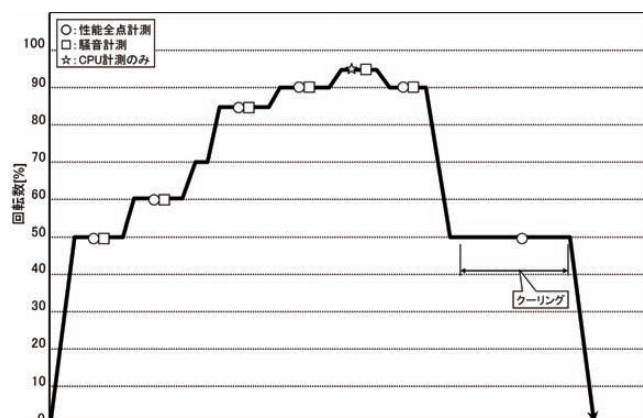


図4.2-25 高所Cノズル騒音試験山形

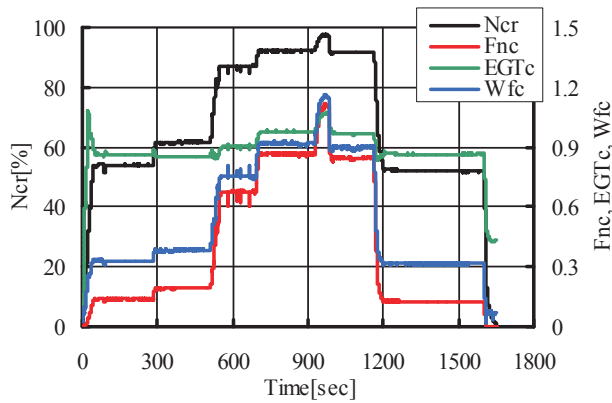


図4.2-26 エンジン性能計測結果
(高所Cノズル騒音計測試験)

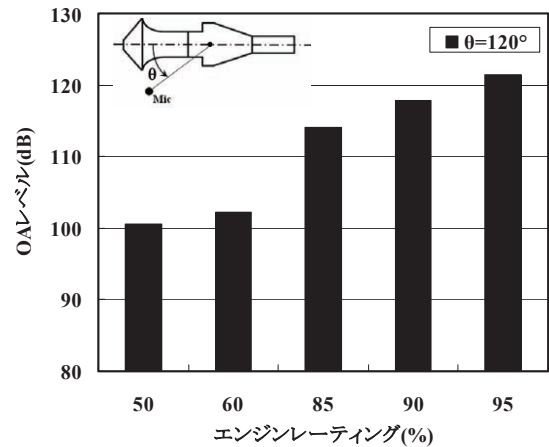
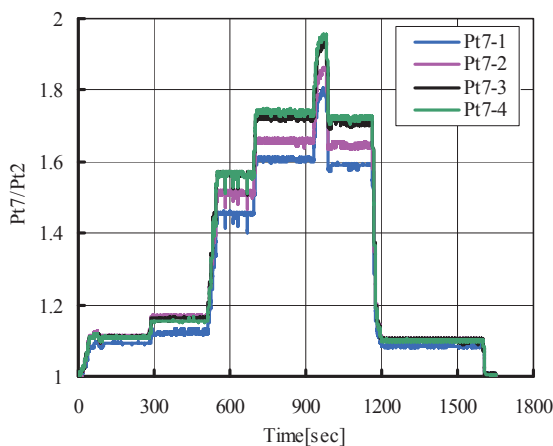
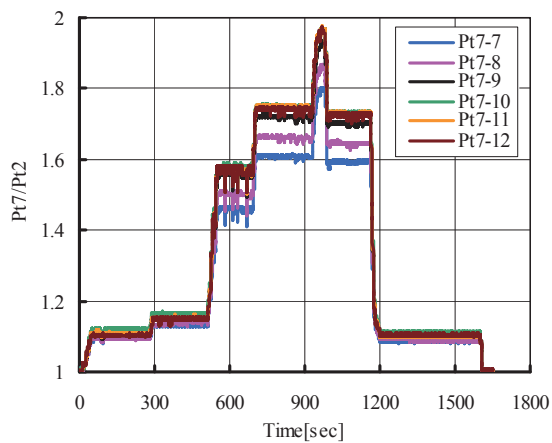


図4.2-28 騒音計測結果
(高所Cノズル騒音計測試験)



後視4時方向レーク



後視8時方向レーク

図4.2-27 ノズル内全圧計測結果
(高所Cノズル騒音計測試験)

④ 低所Cノズル排気トラバース試験

本試験を実施するにあたり、低所運転架台を高所運転架台からユニックを用いて降ろすと共に、排気トラバース装置の設置作業のため、高所架台を運転場から撤去した。トラバース装置の設置は7tのフォークリフトを使用した。設置後動作確認を実施したところ、燃料流量計の指示値不良が発生すると共に、計測信号の一部にノイズが混入することが確認された。そのため1日間、原因調査およびトラブルシュートに費やされた。結果、TTL信号(発生源は不明)が運転場敷き鉄板を通じて混入していることが判明したため、対策として敷き鉄板および燃料流量計のシールドをHATS内の第一種アースに接続した。また別のトラブルとして、トラバース装置がコントローラからの制御信号に反応しない事象が発生したが、原因はエンコーダケーブルコネクタ部の接触不良であった為、ケーブルの再加工により解決した。

図4.2-29に排気トラバース試験形態を示す。本試験はエンジンから出る排気ガスに対し、全圧、全温を計測し、排気特性を取得することを目的とした。試験内容は排気方向の分布を取得する排気方向トラバース試験と排気の断面の分布を取得する回転方向トラバース試験の2種類であった。実施に当たってはプレテストとしてアイドルおよび90%レーティングにおいて排気方向作動確認、回転方向作動確認、計測データ確認を行った。



図4.2-29 排気トラバース試験形態

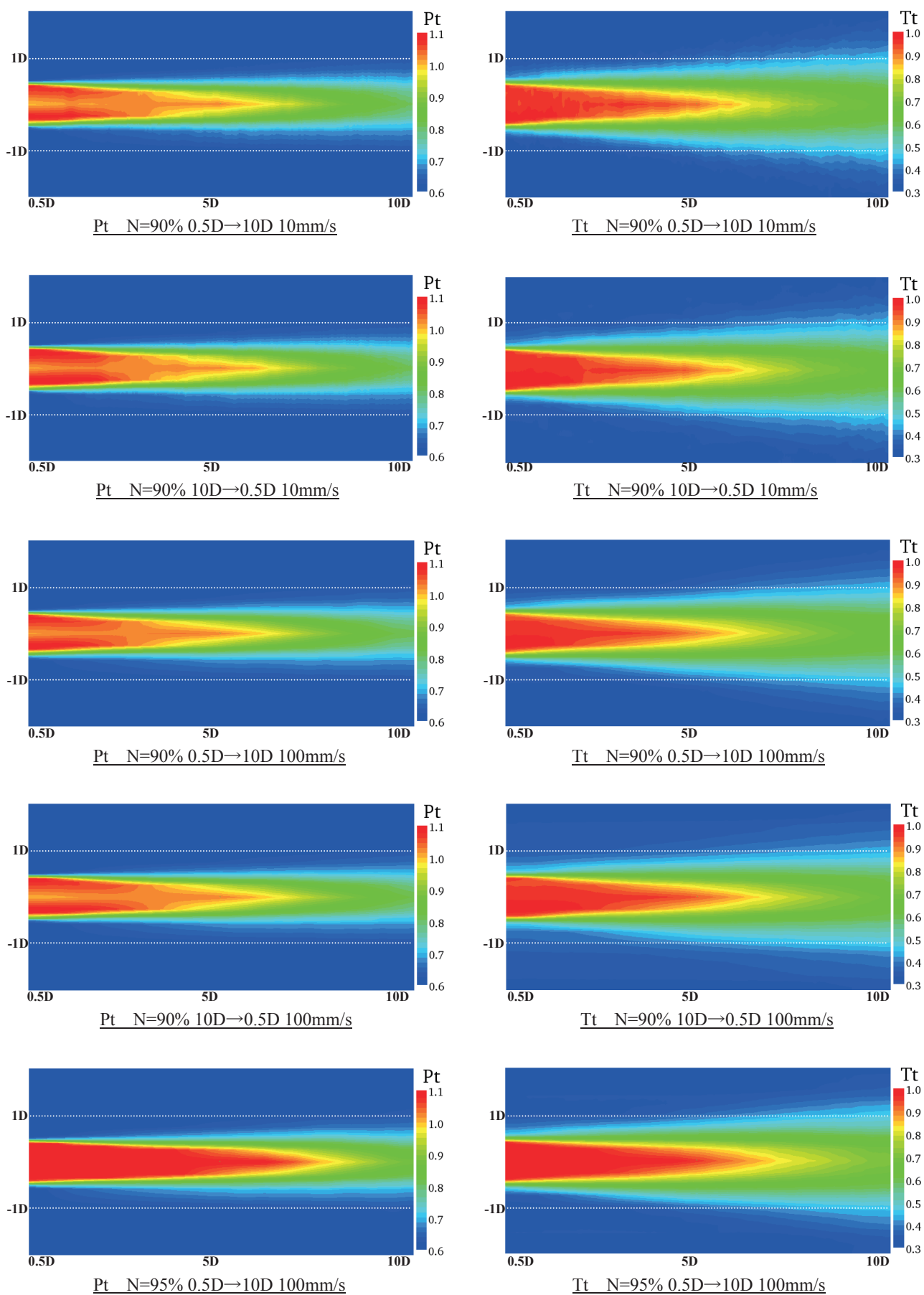


図4.2-32 排気方向トラバース全圧全温計測結果

次に図4.2-33に回転方向トラバース試験の山形を示す。排気トラバース試験同様、エンジンスタート時はトラバース位置を2Dにセットした。90%レーティング到達後0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10Dの各位置で $0^{\circ} \rightarrow 185^{\circ}$ もしくは $185^{\circ} \rightarrow 0^{\circ}$ 方向にレークを $2^{\circ}/s$ の速度で回転させながら全圧、全温計測を実施した。また、95%での計測を実施したかったが、保持時間制限のため実施せず、80%レーティング以上で回転数が安定する所を探し、86%にて90%と同様に回転方向トラバース計測を実施した。

図4.2-34にエンジン性能計測結果を、図4.2-35に回転方向トラバース全圧全温計測結果を示す。排気方向トラバース結果同様、全圧、全温の値は90%レーティング、0.5D位置でのピトーレーク中心全圧、全温の値で無次元化を行っている。全圧計測結果を見ると90%, 86%レーティング共に、0.5Dの位置で排気の中心および排気の周囲に圧力損失が発生している。これは図4.2-36に示すように、タービン出口部にあるテールコーンとそれを支持する5本のストラットによるものと考えられる。さらに後方にはCノズルに取り付けられた温度センサーが10本あるが、それによる圧力損失は前者と比較して小さいものと思われる。一方全温に関しては排気方向トラバースでも確認された様に、0.5Dから2D付近まで排気下側の領域の温度が周囲に対し高くなる傾向が確認された。

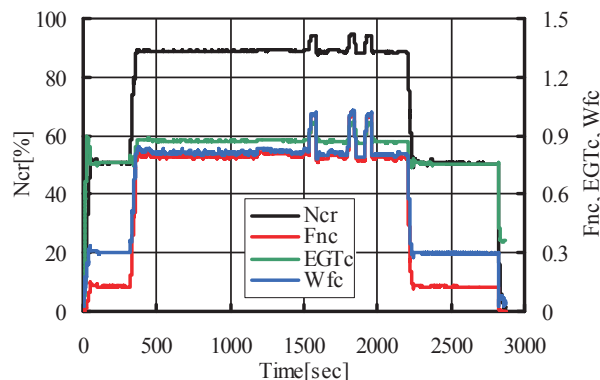


図4.2-34 エンジン性能計測結果
(回転方向トラバース試験)

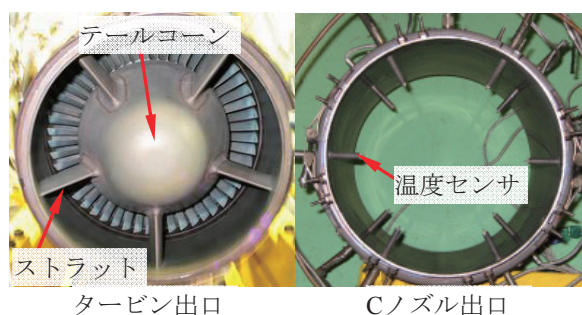


図4.2-36 エンジンストラットと温度センサの位置

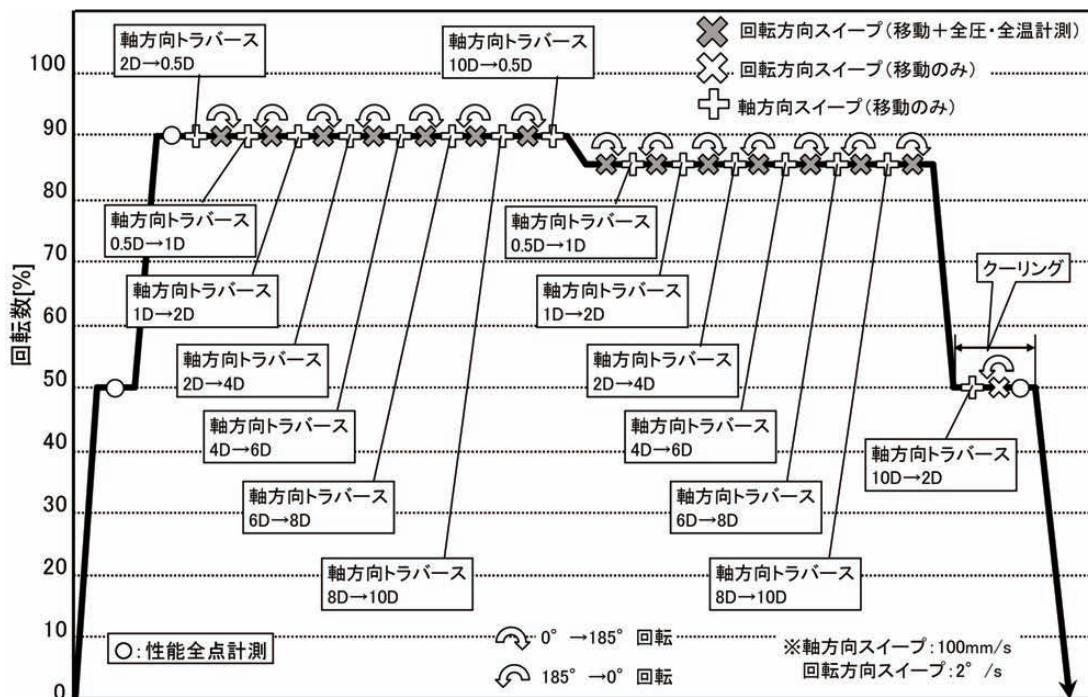


図4.2-33 回転方向トラバース試験山形

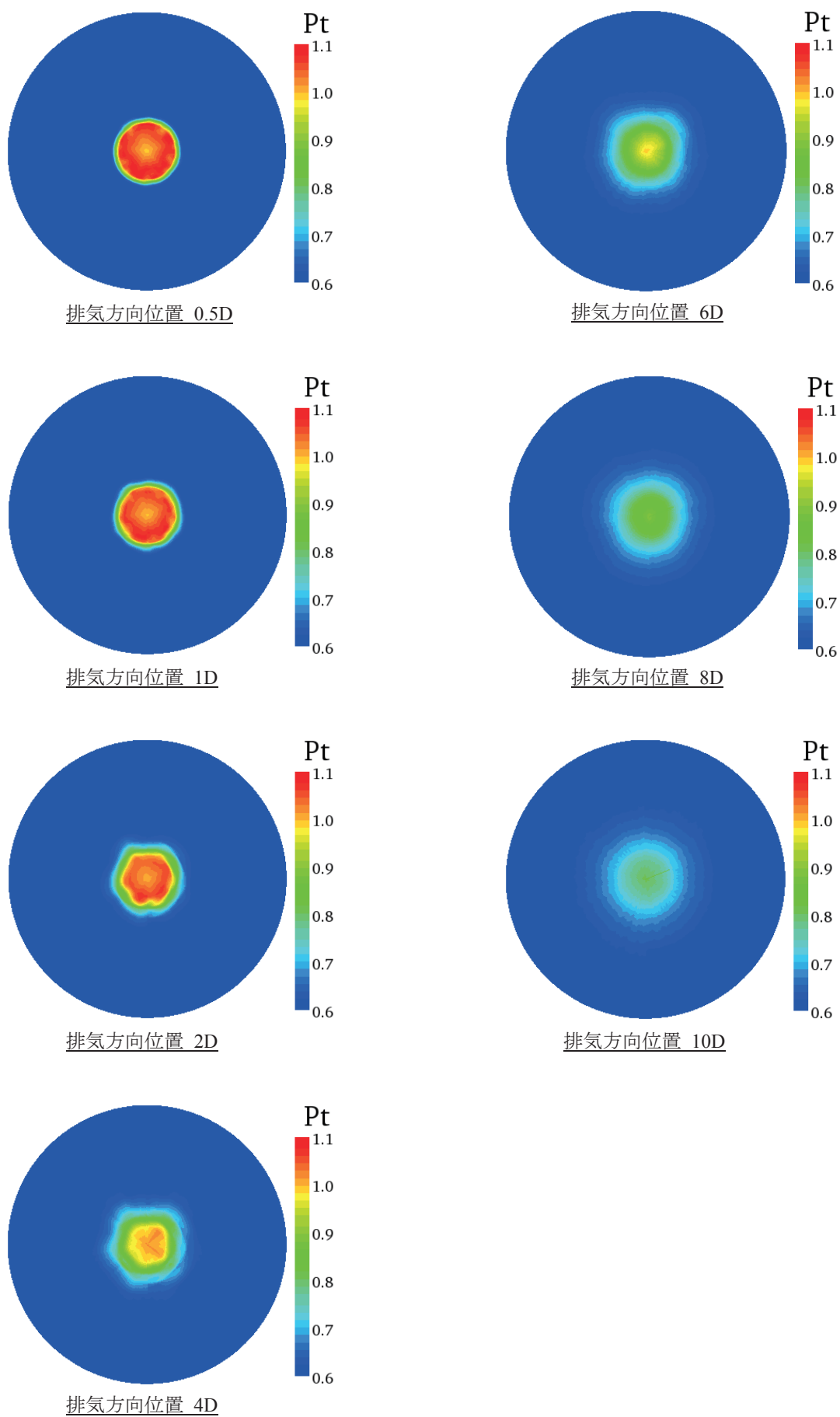


図4.2-35 回転方向トラバース全圧全温計測結果(N=90% 全圧)

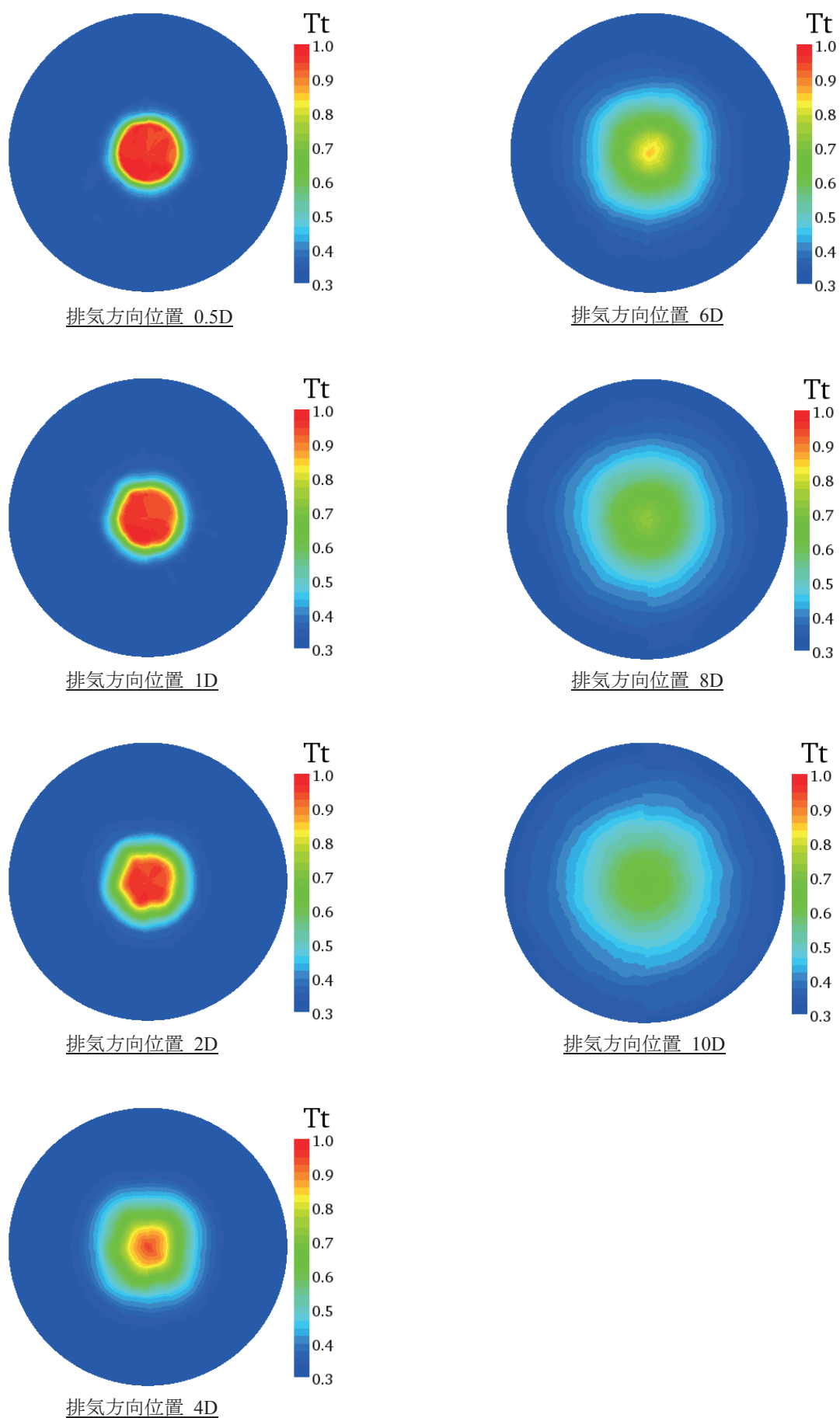


図4.2-35 回転方向トラバース全圧全温計測結果(N=90% 全温)

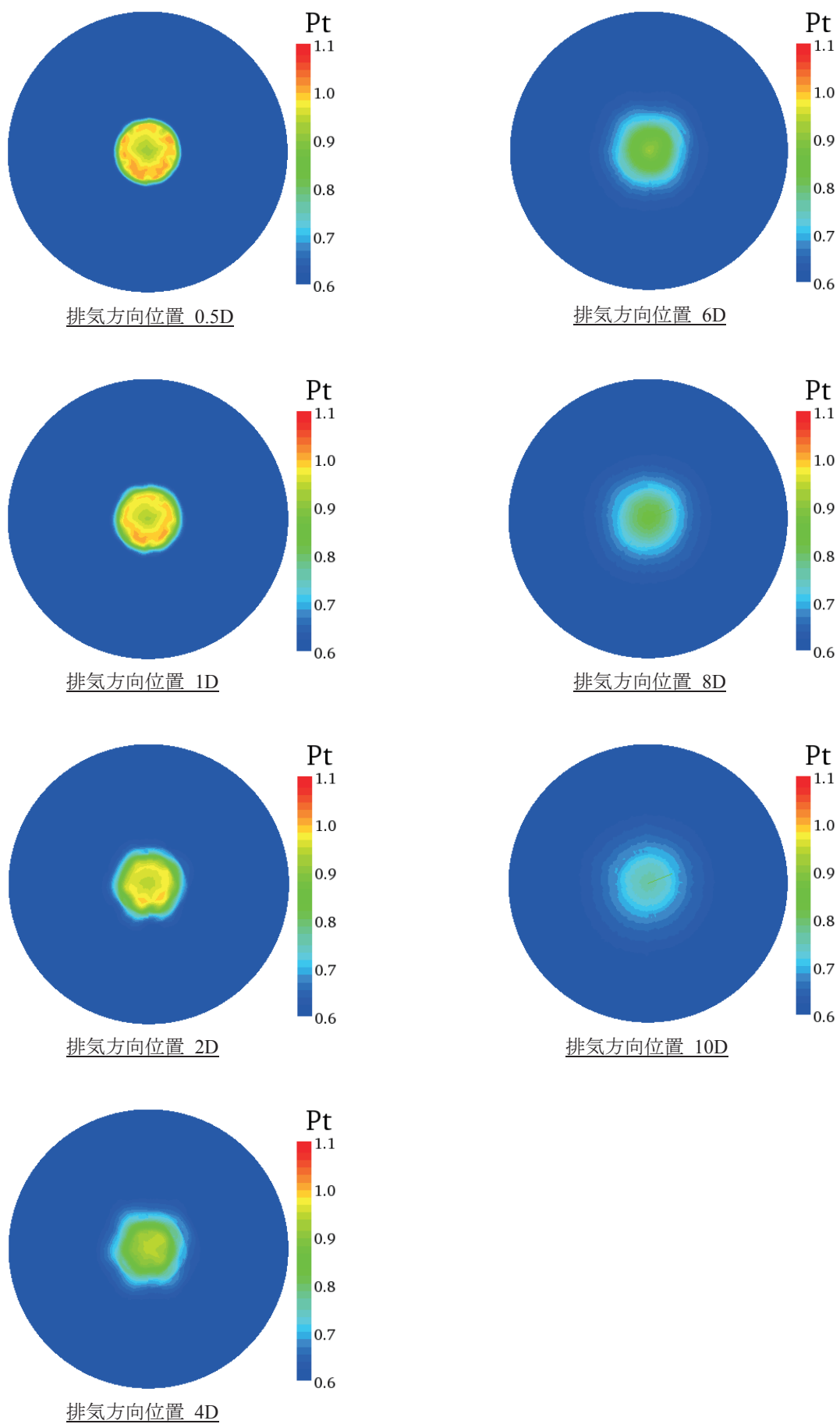


図4.2-35 回転方向トラバース全圧全温計測結果(N=86% 全圧)

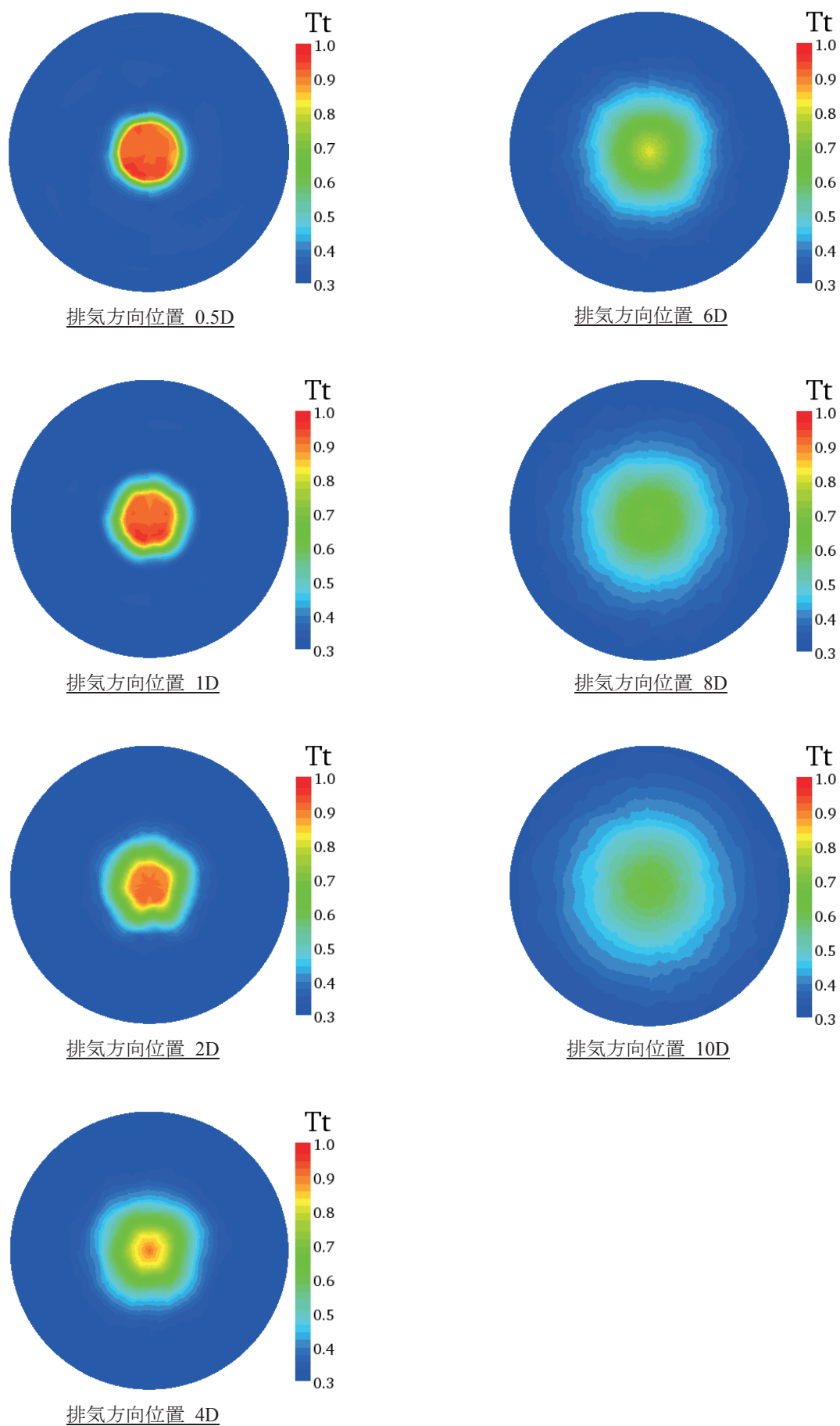


図4.2-35 回転方向トラバース全圧全温計測結果(N=86% 全温)

⑤ エンジン排気内水噴射騒音計測試験

最初にトラバース装置の回転機構部分の水噴射用リングに換装する作業を行った。また、水供給ポンプの作動確認を行うと共に、噴射水量チェックを行った。騒音計測器材については、マイクロホン先端部にGRAS社製防水キャップ(Model:RA0127)を装着した。

本試験はエンジン排気内に水を噴射することにより排気温度を下げ、また排気のせん断層の混合を促進し排気速度下げることによって騒音が低下するのではないかと判断し行った試験である。水噴射に使用したノズルは4.1.1項でも述べたが、直進タイプと拡散タイプの2種類であり、その各々に対し噴射する水量を3段階に調整することで騒音計測を実施した。

図4.2-37に試験山形を示す。この山形は直進タイプ噴射ノズル、拡散タイプ噴射ノズル双方の試験で使用したものである。まずトラバース位置を5Dにセットし、水をMAX(50L/min)で噴射しながらエンジンを始動させた。これはエンジン始動時の高温排気に対するノズルの焼きつきを防止する目的から行った手段である。アイドル到達後はLOW(4L/min)に下げ、90%レーティングに上げ5, 4, 3, 0.5Dの位置にて騒音計測を実施した。この4L/minの噴射量は、見た目にもかなり少量であり、0L/minにしてしまうと噴射ノズル内でキャビテーションが発生およびカーボン等の焼きつきによる目詰まりが発生する可能性があるために設定した最低水量である。次にMAX, MID(25L/min)でも同様の位置で騒音計測を行い、95%レーティングに上げた後は4Dの位置にて、3つの水量での騒音計測を実施した。この4Dの位置は排気トラバース試験でポテンシャルコア近傍であると判断したため代表計測点として選んだ場所である。

図4.2-38に水噴射流量がMAXの時の試験写真を示す。エンジン始動時拡散ノズルでは高温の排気によって水が殆ど水蒸気化され、辺り一面が真っ白となった。90%レーティングにおける各位置の写真を比較すると、エンジン排気がCノズル出口より遠ざかるほど広がっていることが確認できる。また、直進ノズルと拡散ノズルを比較した場合、直進ノズルは噴射された水がせん断層に衝突し、その直後は排気方向に筋状となって流れているのに対し、拡散ノズルは噴射された水がせん断層と衝突した直後から水蒸気化し、排気を包み込むように流れていくのが確認された。

図4.2-39,40にそれぞれエンジン性能計測結果と騒音計測結果を示す。当初0.5DでMAXの水を噴いた場合、水蒸気によって排気ノズル出口が狭められ、サージ等エンジン性能に何らかの影響があるのではと予想されたが、その様なことは全く無かった。騒音計測結果は、4Dの位置において90, 95%レーティングと直進、拡散ノズルそれぞれの組み合わせに対して横軸マイクロホン位置、縦軸騒音オーバーオール値で表している。エンジンレーティングで比較した場合、直進ノズルは90%レーティングで噴射水量を増やすほど騒音低減効果が見られ、95%では逆に騒音値が上がっている。それに対し、拡散ノズルでは90%, 95%共に噴射水量を増やすことによる騒音低減効果が見られるものの、95%の方がその効果が大きく出ている。噴射ノズルで比較した場合、90%レーティングでは直進ノズルの方が騒音低減効果が大きく、95%レーティングでは拡散ノズルの方が騒音低減効果が大きいという結果が出た。

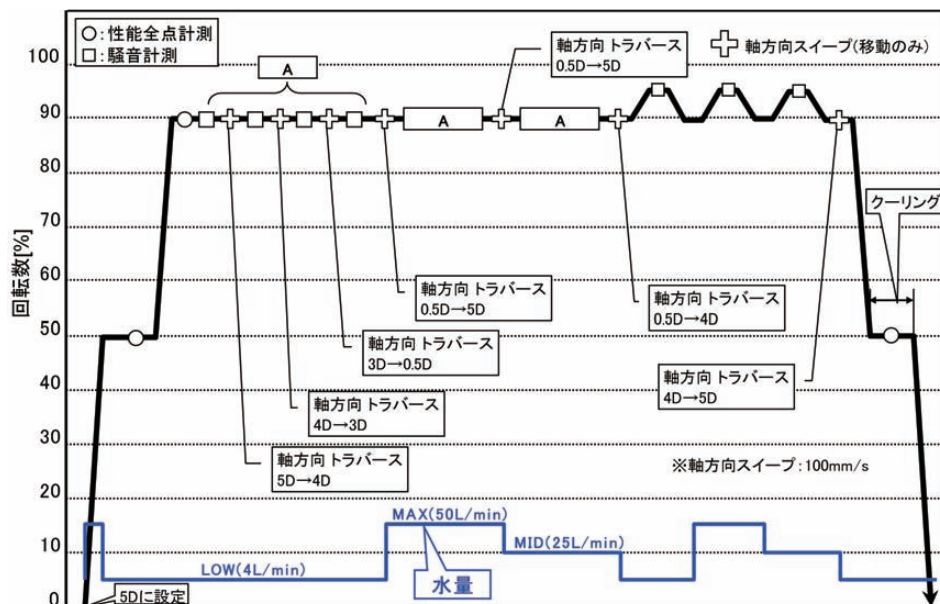


図4.2-37 エンジン排気内水噴射騒音計測試験山形

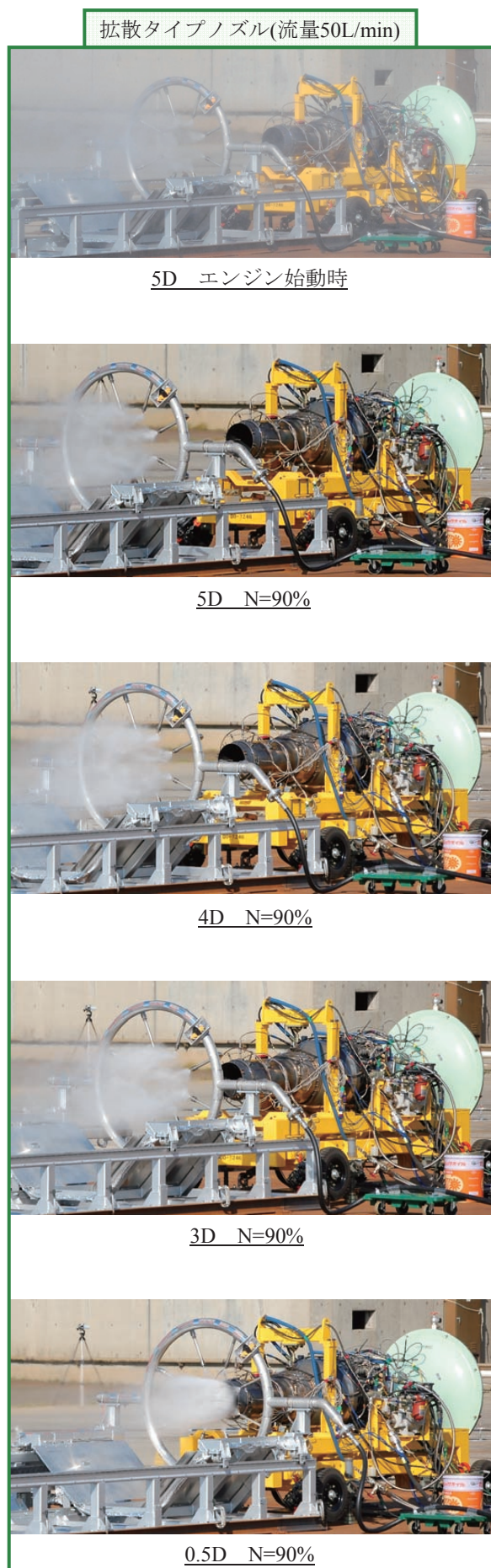
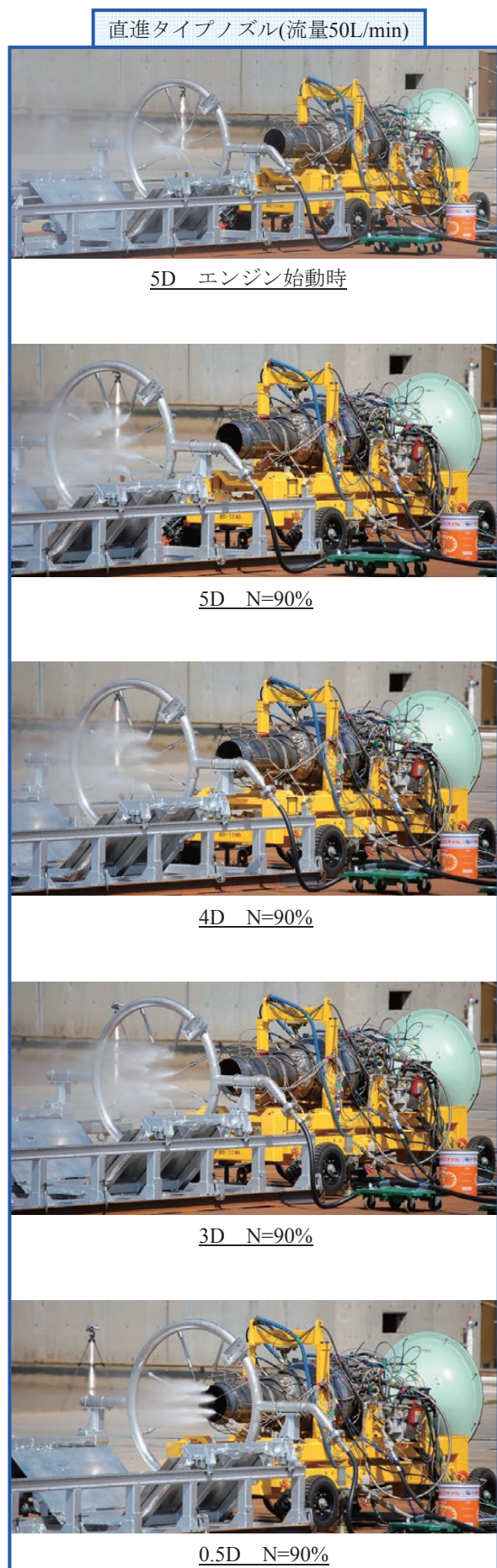


図4.2-38 排気内水噴射の様子(露出時間1/800秒)

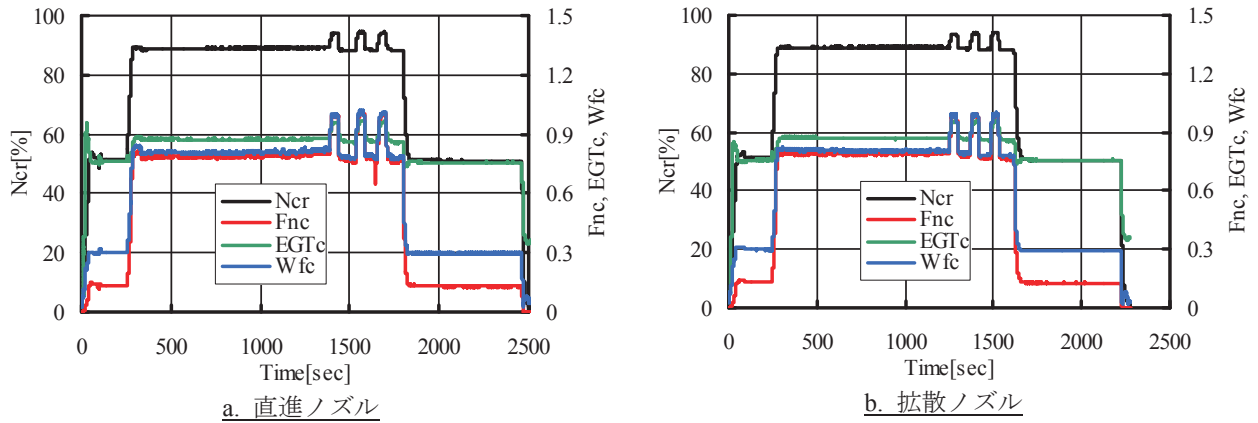


図4.2-39 エンジン性能計測結果(排気内水噴射騒音計測試験)

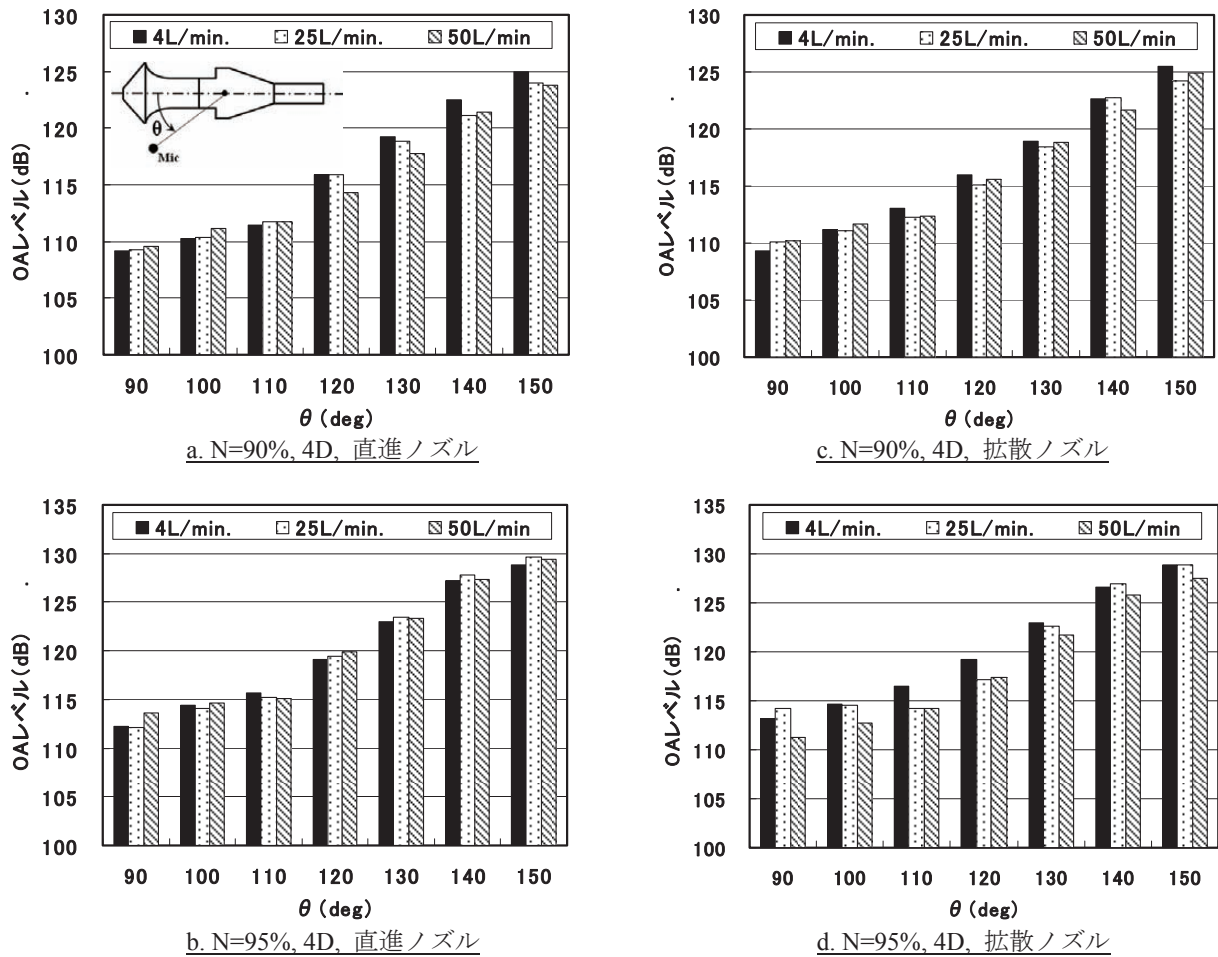


図4.2-40 騒音計測結果(エンジン排気内水噴射騒音計測試験)

4. 2. 4 試験後の作業

最後に実施したエンジン排気内水噴射騒音計測試験(拡散ノズル)は、試験途中で燃料が不足すると予想されたため、急遽調達が必要が生じた。JET-A1は当日入手が不可能なため、入手性の良い灯油を購入し運転に使用した。そのため本試験終了後、残ったJET-A1を使用し、燃料入れ替え運転を行った。その中ではエンジン性能としてJET-A1も灯油も違いが無いことを確認した。

また、復路の器材輸送では10tトラック3台を使用した。届いた器材類は、高所架台を航空推進2号館脇に、排気トラバース装置を航空推進8号館計装室に、その他エンジン、ワイヤパレット、白コンテナ類は航空推進8号館計装室、3F倉庫、地下油圧動力室に分散させ収納した。

5. おわりに

屋外試験では限られた期間の中で試験を実施するため、入念な準備作業が必要となる。そのため多くの人員と準備期間が必要となる。本試験では、(株)IHI、(株)INCエンジニアリング、(株)サンテクノロジー、能代多目的実験場、ジェットエンジン技術研究センター、その他関係各社のご協力の元、騒音計測データ、排気特性データ等研究を進める上で有効なデータを取得することが出来た。関係各社に対し、深甚の謝意を表明する次第である。今後、このデータを詳細に解析し、新たな騒音試験法、エンジン試験法の開発、およびエンジンデバイス等の開発等に活かされていく事を期待する次第である。

参考文献

- (1) 堀之内他、「小型超音速実験機の基本設計結果について」 JAXA-RR-05-044, 2006年3月
- (2) 大貫他、「小型超音速実験機 第2回飛行実験」 JAXA-RR-06-049, 2007年3月
- (3) 松岡増二, 「ジェット・エンジン(構造編)」(社)日本航空技術協会
- (4) 生井武文, 松尾日一泰, 「圧縮性流体の力学」理工学社
- (5) 岩本順二郎, 「圧縮性流体力学」共立出版(株)
- (6) 石井他, 「YJ69ターボジェットエンジンの屋外騒音試験」 JAXA-RM-08-012
- (7) J. L. ケルブロック, 「ジェットエンジン概論」 東京大学出版会

Appendix-1 エンジン制御・計測系統機能確認結果（駆動機器機能確認） 1/3

	機器	対象／判定区分			判定基準	判定方法	良否
		センサ	表示器	機器			
1	エキシタ 1) DC28Vエキシタ 2) AC100Vエキシタ	—	—	○	ignライター、プラグをエキシタに接続し、制御ONでスパークが飛ぶこと。また、そのスパーク状態（レートなど含む）に問題がないこと。	目視	良
2	スロットル	—	—	除外	スロットル操作（加速／減速／タグ）にてスロットルアクチュエータ側ケーブル端末で電源電圧約DC28Vが確認できること。	テスト	良
3	ジェネレータ	—	—	除外	バッテリー側電源ケーブル端末、（ディストリビューション）を介して）、ジェネレータ側電源ケーブル端末にて制御ONで導通があること。	テスト	良
4	ロータハシク	—	—	除外	ケーブル端末、（ディストリビューション）を介して）、ロータハシク側内部端子にて制御ONで導通があること。	テスト	良
5	燃料ポンプ	—	—	○	制御ONでポンプが回転すること。	駆動音	良
6	燃料遮断バルブ	—	—	○	制御ONで駆動すること。	駆動音	良
7	エマージェンシーバルブ	—	—	除外	非常停止ONでエマージェンシーバルブ側ケーブル端末で電源電圧約DC28Vが確認できること。	テスト	良
8	スタータフェールバルブ	—	—	除外	制御ONでスタータフェールバルブ側ケーブル端末で電源電圧約DC28Vが確認できること。	テスト	良
9	ブロー	—	—	○	電源投入でファンが回転すること。	駆動音等	良
10	燃料ポンプユニット	—	—	○	仮設燃料ラインを接続し、電源投入で燃料ポンプが回転し、吐出バルブ閉めきりにて背圧弁上流圧力計で約0.11MPaであること。	目視	良
11	非常停止機能	—	—	除外	非常停止ONで、燃料ポンプ電源ON→OFF、燃料遮断バルブ電源ON→OFF、エマージェンシーバルブ電源OFF→ONになること。	テスト	良

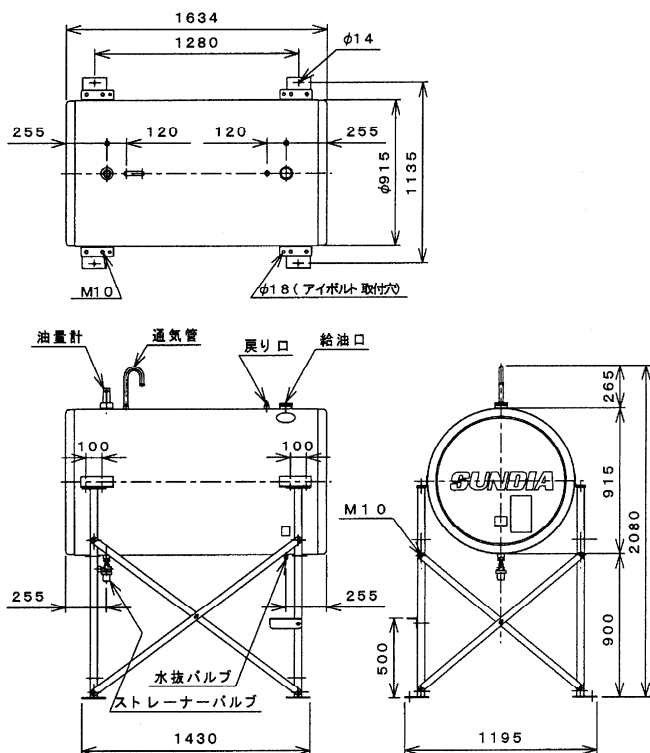
Appendix-1 エンジン制御・計測系統機能確認結果(計測機能確認) 2/3

	機器	対象／判定区分			判定基準	判定方法	良否
		センサ	表示器	機器			
1	回転計 (アナログ)	除外	除外	—	タコジェネ動カ信号が必要であるため機能確認除外	—	—
2	回転計 (デジタル)	除外	○	—	1) ハルビックアップ側ケーブド末端コネクタに、±5V 正弦波、4200Hz を投入し、計測ハネル上のデジタル回転計で22150rpm 相当の回転指示があること。 2) 回転計アナログ出力が2.1VDC 相当であること。	目視 テスト	良
3	推力計	○	○	—	1) ロードセル校正用器材を使用し、ロードセルに10kN 相当の荷重(フルビソナリング指示値6.33 程度)を負荷し、コントロールハネル上の推力計にて1020kgf 程度の推力指示であること。 2) 推力計アナログ出力が3VDC 相当であること。	目視 テスト	良
4	燃料流量計	(除外)	○	—	1) タービソプロセッサ側ケーブド末端コネクタに、±5V 正弦波、2500Hz を投入し、計測ハネル上のデジタル流量計で3953.5PPH 相当の流量指示であること。 2) 流量計アナログ出力が5VDC であること。 3) コネクタをタービソプロセッサに接続し、微風通気にてタービンを回し、流量計指示の変化があること。	目視 テスト	良
5	振動計	○	○	—	1) 振動ピックアップをハマリソグし、振動計指示値の変化があること。 2) また振動計アナログ出力で変化があること。	目視 テスト	良
6	スタータ電流	○	○	—	1) デイストリビューションハネル側ケーブド末端コネクタに、50mV を投入し、シグナルコンデンプションアナログ出力の変化があること。(mV 発生器の容量により電流計を駆動できない場合あり)	目視 テスト	良

Appendix-1 エンジン制御・計測系統機能確認結果(計測機能確認) 3/3

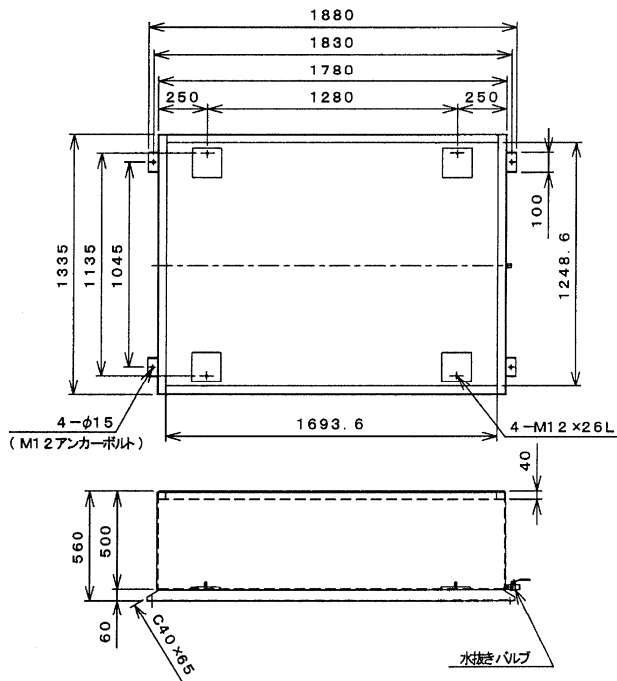
	機器	対象				判定基準	判定方法	良否
		センサ	表示器	機器	別法			
7	スロットル電流	—	○	—	—	1) スロットル電流計端子台に 20mA を投入しスロットル電流計にて 20mA 相当の電流指示があること。	目視	良
8	ジェネレータ電流	—	○	—	—	1) デイストリビュションパネルの側ケーブド端末コネクタに、50mV を投入し、ジェネレータ電流計にて 200A 相当の電流指示があること。(mV 発生器の容量により電流計を駆動できない場合あり)	目視	良
9	圧力計測 PS2W PSUMP PT2 POIL PFB CDP PS7	○	○	—	—	1) POIL, PFB については、各導圧チューブ端から各レンジ MIN, MAX 圧力を負荷し、負荷圧力相当の圧力計指示値があること。また、表示器アナログ出力 (1V, 5V 相当) があること。 2) POIL, PFB に以外については各導圧チューブ端から各レンジ MIN, MAX 圧力を負荷し、シグナルコンディショナログ出力 (0V, 10V) があること。	目視 テスト	良
10	温度計測 TOIL TSCAV T2 EXH.1~4 TAIL.AVE (EXH.5~10除く) TWF	○ 排気温度 は除外	○	—	—	1) 排気温度関係を除き各センサ受温部を加熱し、温度計指示値に変化があること。 2) 全点についてから温度校正電圧 (温度レンジ MIN, MAX 相当) を投入し、シグナルコンディショナログ出力 (0V, 10V 相当) が確認できること。TAIL.AVE については表示器アナログ出力があること。 ※EXH.5~10は計測表示が無いため除外	目視 テスト	良

型 式	
AH-990	
仕 様 明 細 書	
容 積	1047 リットル
容 量	942 リットル
使用燃料	灯 油
種 類	据置式(脚部固定)・屋外用
本体材質	溶融亜鉛メッキ鋼板
本体板厚	2.3 mm
脚材質	STKR400
脚材寸	□45 mm
脚板厚	1.6 mm
溶接	CO ₂ アーク溶接
塗装	ポリエステル樹脂静電粉体塗装
検査	本体密閉後、39 kPa の空気圧による全数検査
包装	PEシート、エアキャップ
油量計	無指向性フロート 上下表示式
給油口	φ65 mm
通気管	φ25.4、40メッシュ金網付
送油口	Rp1 めねじ、ブッシング、ニップル、 Rc1/2 ストレーナバルブ付
戻り口	Rc3/4 めねじ、プラグ付
水抜口	Rc3/8 めねじ、水抜きバルブ付
塗装色	本体(グレー)
完成重量	脚(グレー) 約145 kg



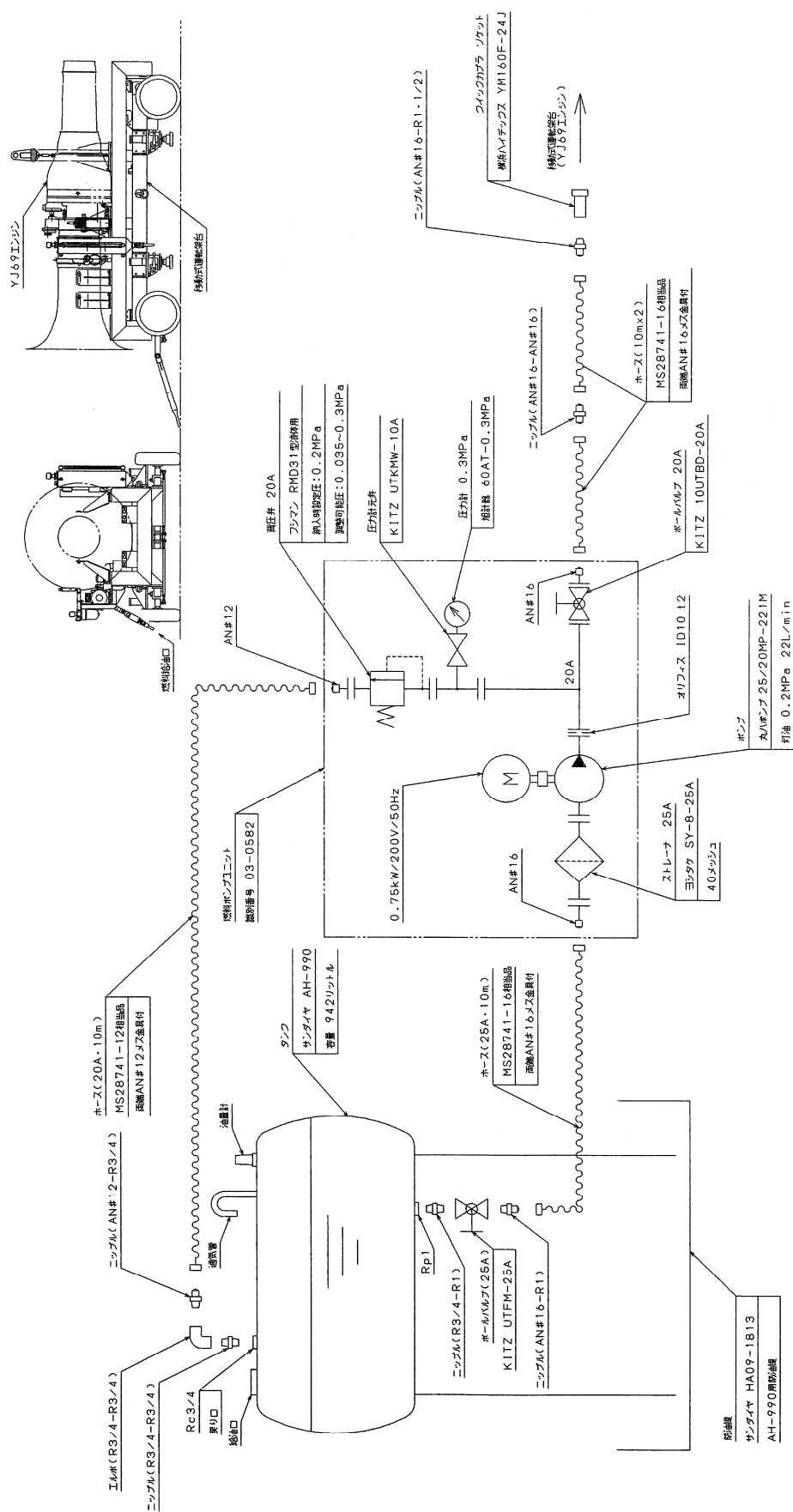
燃料タンク

型 式	
HA09-1813	
仕 様 明 細 書	
容 量	1160 リットル
適用タンク	AH-990
本体材質	溶融亜鉛メッキ鋼板
本体板厚	3.2 mm
塗装	アクリル樹脂焼付塗装
水抜口	R1/2 おねじ
付属品	Rc1/2 バルブ、タッチアップスプレー、 M12 ナット、ワッシャー
塗装色	グレー
完成重量	約185 kg
耐震条件	耐震設計震度 0.6 以下
防油堤固定	アンカーボルト(埋込式) 形 M12 深さ100 mm以上

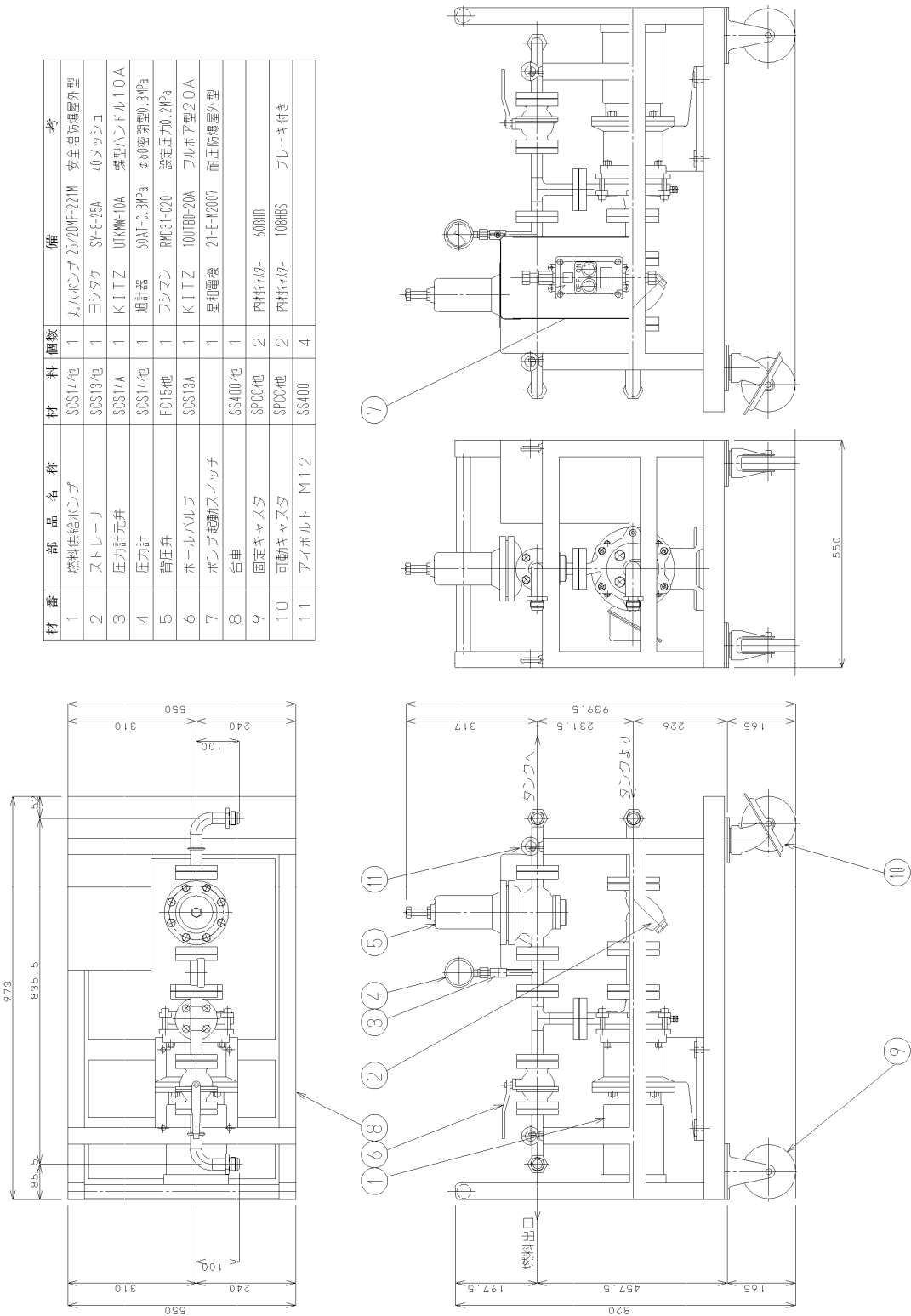


防油堤

Appendix-2 燃料タンクおよび防油堤の仕様



Appendix-3 燃料供給器材系統図



Appendix-4 燃料ポンプ外形図



Appendix-5 試験タイムスケジュール



本書は再生紙を使用しております。
紙にリサイクル可。