

振 動 計 測

今澤 茂夫・平田 安弘・富澤 利夫

(1983年2月1日受理)

概 要

液水・液酸エンジンの開発試験における諸計測の一環として振動計測を行った。当初、各コンポーネントの開発段階では作動中に発生する機械振動の計測を目的としたが、ターボポンプ試験が本格化してから緊急停止の一項目として操作系に組入れた。

本稿では計測装置の概要について述べ、計測結果の一例を紹介した。

1. ま え が き

液水・液酸エンジンの開発試験は昭和52年6月に行われた1 ton 燃焼器の試験から開始されたが、試験における諸計測の一環として振動計測を担当した。

初期の1 ton 燃焼器、7 ton 燃焼器、ターボポンプ、ガスジェネレータ等各コンポーネントの試験段階では作動中に生ずる機械振動の計測を目的とした。その後ターボポンプの試験が本格化すると緊急停止の一項目としての約割も負うようになった。

計測方法は従来から固体モータの燃焼試験で行っている方法と同一で、検出器には圧電型振動加速度計を使用した。

ターボポンプ試験 TP-702-2 試験から小田技官（倉谷研究室）の製作された緊急停止装置を使用した。これは振動の過大レベルに対して作動し、信号を操作系に送出するものであるが、その後単一パルスの衝撃やノイズで作動しないように振動の持続時間をチェックする時間設定装置を付加した。

本稿では計測装置の概要と計測結果の一例として7 ton および10 ton ステージシステム試験の結果の一部を紹介する。

2. 計 測 概 要

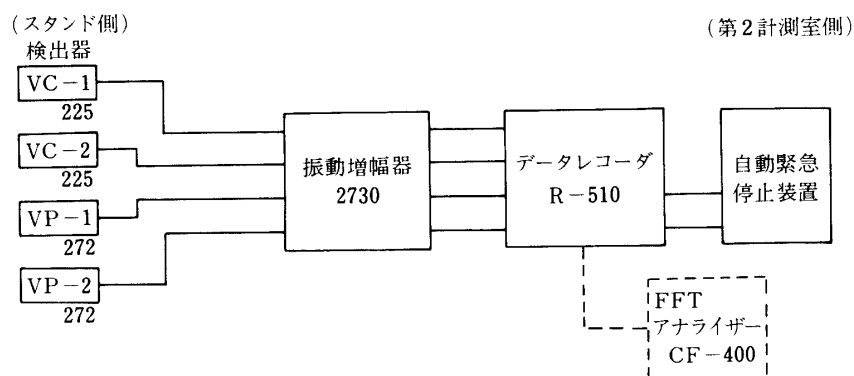
(1) 計測装置

計測系の構成を第1図に示す。

検出器に圧電型振動加速度計を用い、チャージ増幅器を介してデータレコーダに収録する。この構成を基本にして試験内容、状況によりチャージコンバータ（前置増幅器）を使用する。またデータ収録はビジグラフ、ペンレコーダを併用することもある。

検出器は低温用の272型(ENDEVCO社)を主として使用したが、燃焼器およびガスジェネレータを付加したターボポンプ試験以降では衝撃用の225型(同社)を併用した。

試験後の振動分析は当初、電算機処理を行っていたので速応性に欠けたが、TP-702-1試験(昭和53年11月)からFFTアナライザ(CF-400, 小野測器)を導入して試験後ただちに分析し、回転数との対応が得られるようになった。



第1図 計測系のブロック図

(2) 緊急停止装置

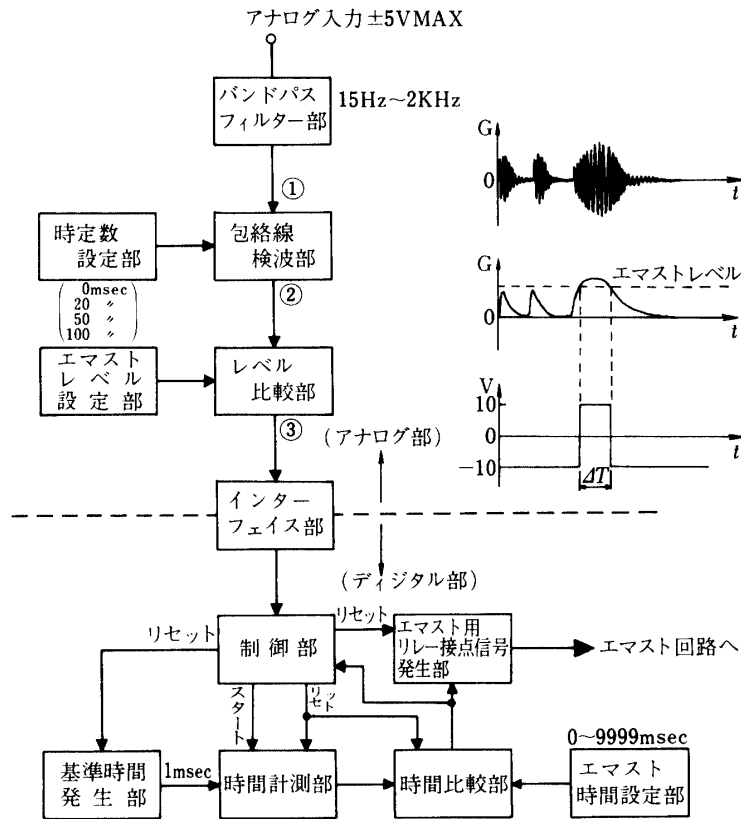
緊急停止の一項目として振動を加えたのはTP-701-1試験からで、この時は単に出力をビジュグラフまたはペンレコーダでモニタし、規定以上の振動レベルになった時に通知するという方法である。

TP-701-3試験の事故後振動系としても速応性のある、そして自動化された緊急停止装置の必要性が痛感された。この意を受けて小田技官のお骨折りで装置を製作して頂いた。

装置の概略を第2図にブロック図で示す。図中のアナログ部である。入力信号はローパスフィルタ(2kHz)を通り両波検波される。検波回路のあとに単一衝撃やノイズによる誤動作防止の積分回路が設けてあり、時定数を選択できる。比較回路は3回路ありそれぞれレベルの設定ができる。停止信号を操作系に送出するのは1回路でリレーは保持される。2回路は途中段階の警報として指示する。

この装置はTP-702-2試験(昭和54年9月)で初めて使用したが操作系への接続は手動で行った。この試験を経て本格的に自動化したのはTP-702-3試験(昭和54年11月)からである。

その後、さらに外乱による誤動作を防止するために、有意の振動が一定時間持続した時に初めて作動する機能を付加した。第2図デジタル部がその部分である。この装置はES-701-1試験(昭和55年7月)から使用した。



第2図 自動振動緊急停止装置

3. 計測結果について

前述のように計測装置の基本的な構成は各コンポーネント試験からシステム試験まで同一で行ってきた。計測位置も同様で燃焼器は前部インジェクタ附近3点，ターボポンプ試験は液水側，液酸側とも外板に軸，回転方向各2点である。システム試験は燃焼器，ポンプ各2点でポンプは緊急停止のモニタを目的として回転方向のみである。

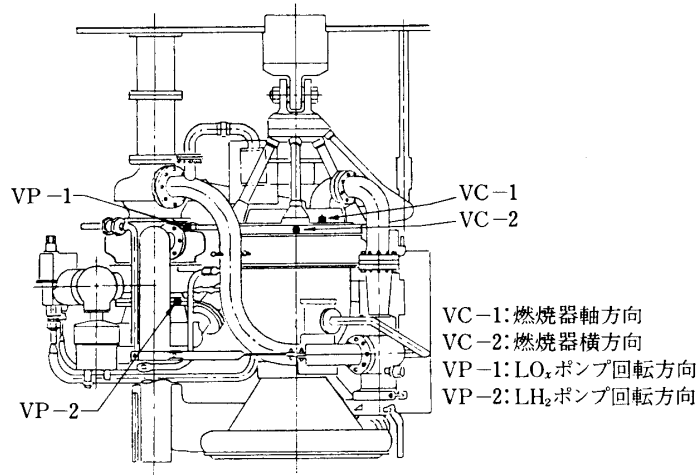
本稿では代表的な計測例としてステージシステム試験の結果から HST-701-1-3 試験 (昭和56年10月) と HST-1001-1-3 試験 (昭和57年4月) について紹介する。

(1) 7 ton ステージシステム試験

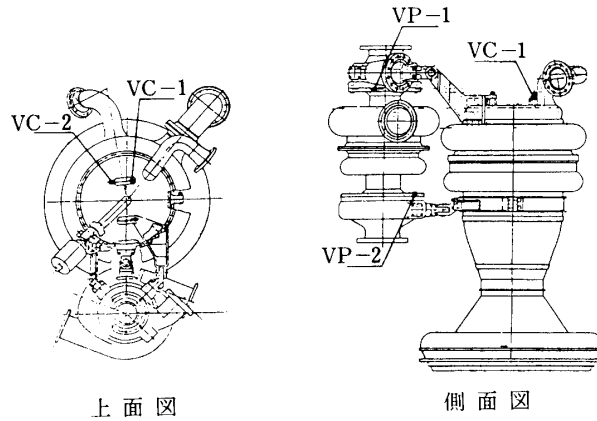
第3-1図は計測位置を示す。

第4-1, 4-2図は振動記録の概要である。作動中の振動レベルの大要とタービンスピナ点火，ガスジェネレータ点火等のシーケンスが読み取れる。定常状態の振動レベルはほぼ一定である。ポンプ水素側 (VP-2) にはPU制御の変動が現れている。

第5-1～5-4図は振動分析結果である。ポンプの振動は各部の共振の中に回転数に対応した振動が読み取れる。この試験では酸素側は比較的明瞭であるが、水素側は不明確である。検出器の取付位置にもよるが、作動中の状況により変化する。燃焼器の振動は高周波成分が多く3 kHz以上の共振が大きい。

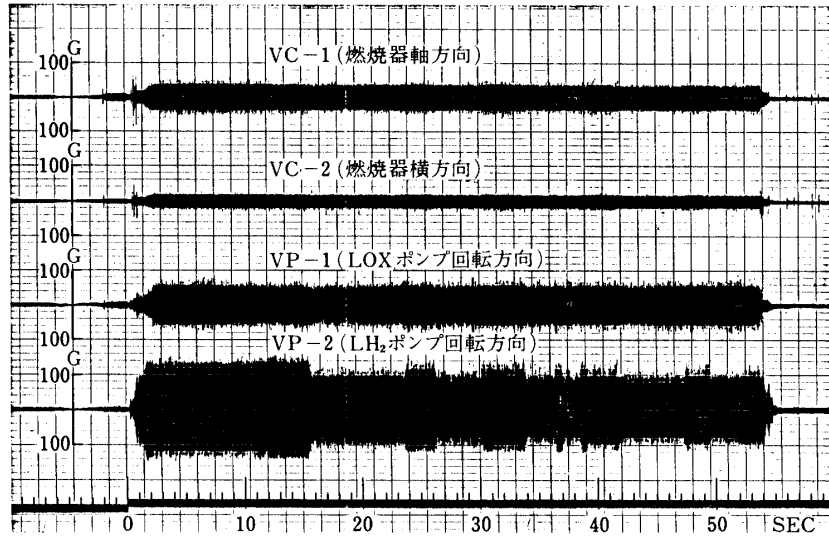


第3-1図 7 TON ステージシステム試験

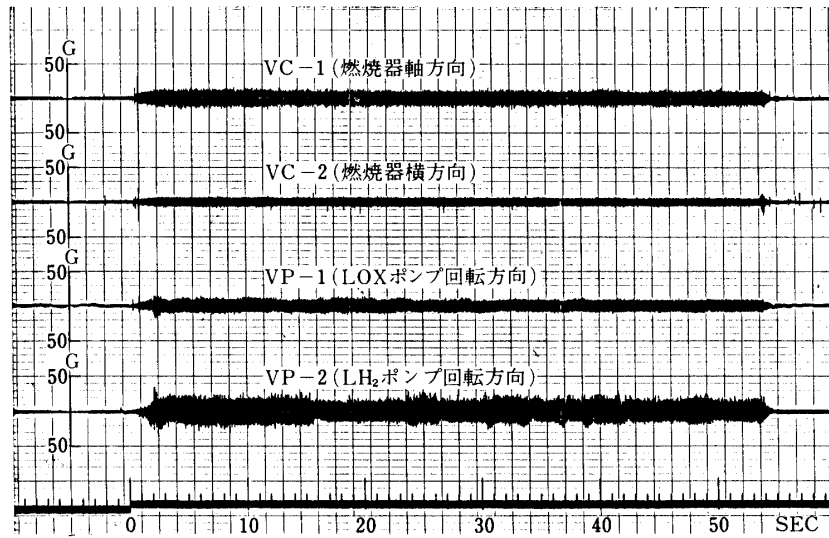


第3-2図 10 TON ステージシステム試験

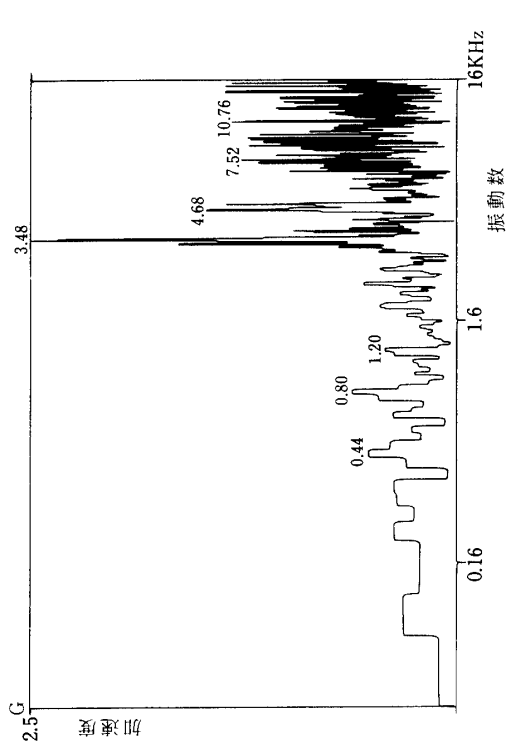
第3図 検出器の取付位置



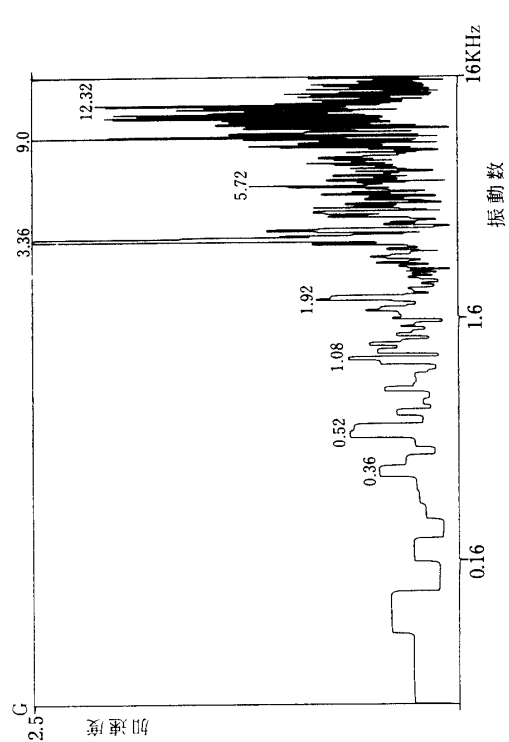
第4-1図 HST-701-1-3 振動記録の概要



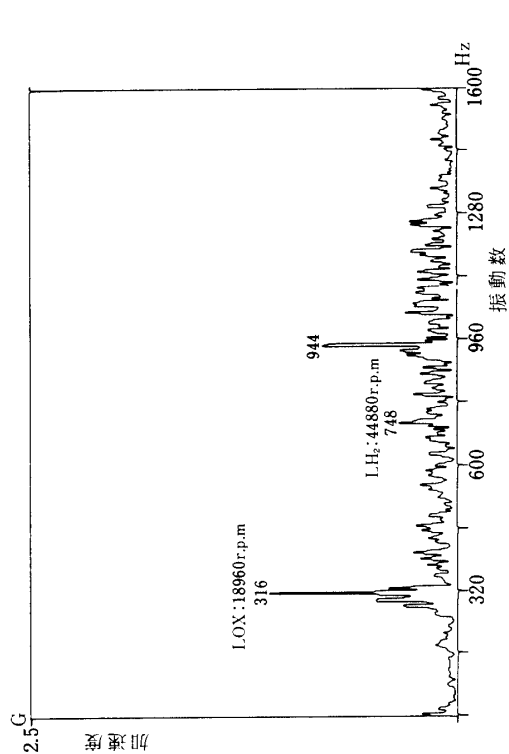
第4-2図 HST-701-1-3 振動記録の概要 (フィルタ; 2.24 kHz)



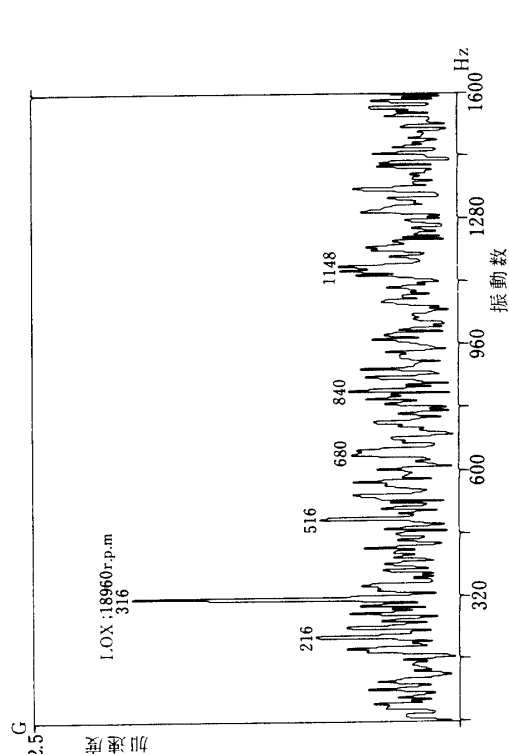
第5-3図 HST-701-1-3, VC-1 (エンジン軸方向) X+25秒



第5-4図 HST-701-1-3, VC-2 (エンジン横方向) X+25秒



第5-1図 HST-701-1-3, VP-1 (LOx ポンプ回転方向) X+25秒



第5-2図 HST-701-1-3, VP-2 (LH₂ ポンプ回転方向) X+25秒

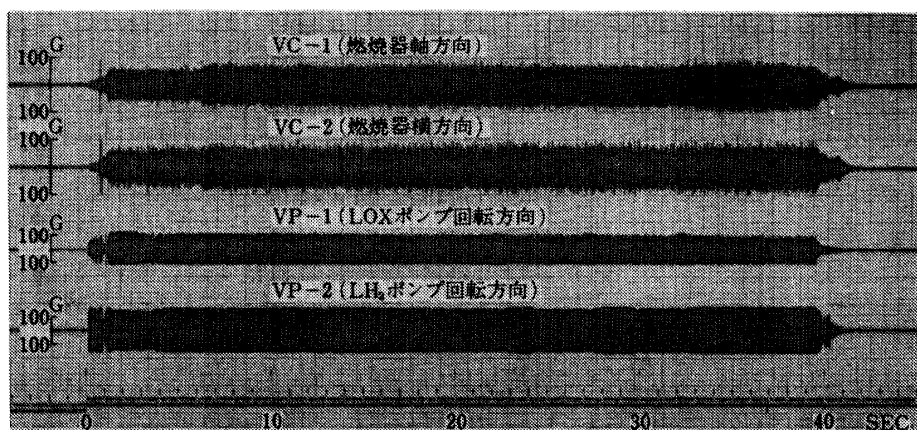
(2) 10 ton ステージシステム試験

計測は7 ton ステージシステム試験と同一であるが、10 ton 用ガスジェネレータの点火時の衝撃がコンポーネント試験の時から大きいので緊急停止装置の接続は X+2.0 秒で行っている。

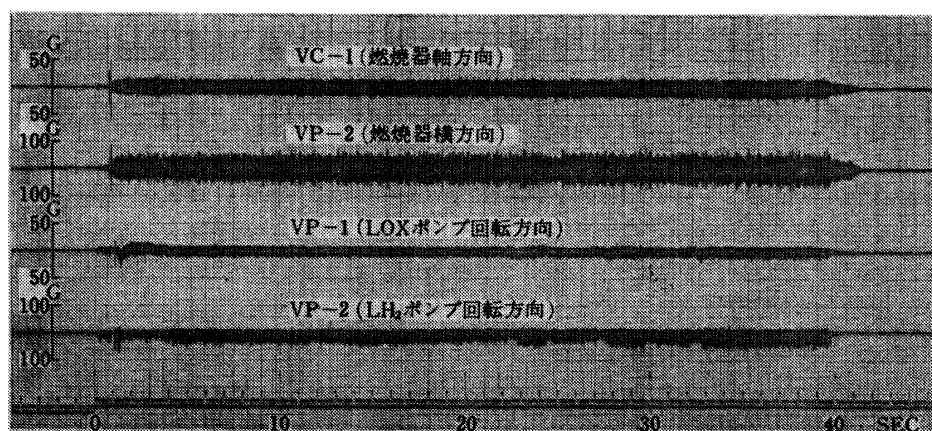
第3-2図に計測位置を示す。

第6-1、6-2図は振動記録の概要である。7 ton 試験と比較すると振動レベルは大きく、特に燃焼器横方向で大きい。第7-3図の振動分析結果に見られるように大部分2.2 kHzの成分によるものである。ポンプ水素側 (VP-2) の記録にはPU制御の変動が見られる。

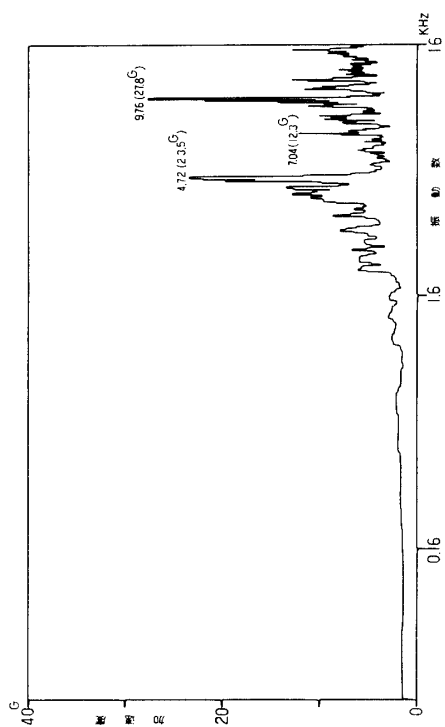
第7-1~7-4図は振動分析結果である。ポンプは X+2.0 秒の結果を示す。回転に対応する振動は水素側が明瞭である。燃焼器は0~39秒、ほぼ全燃焼秒時にわたりピーク値を累積したものである。瞬時値より共振が明瞭に得られている。7 ton 試験と同様高周波成分が多く軸方向で4.72, 9.76 kHz, 横方向では2.2, 4.6, 9.04 kHzが大きい。



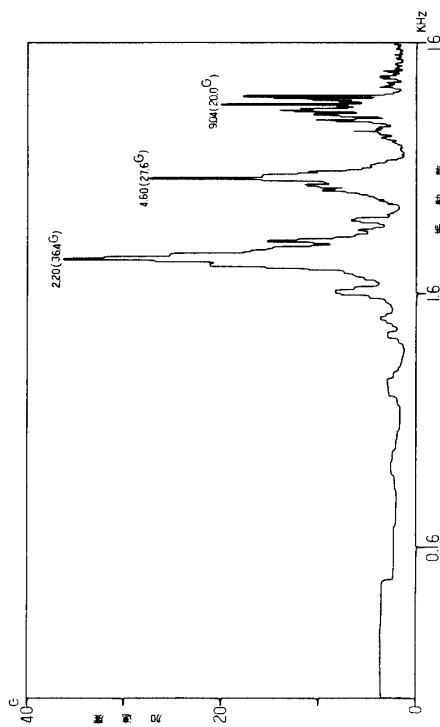
第6-1図 HST-1001-1-3 振動記録の概要



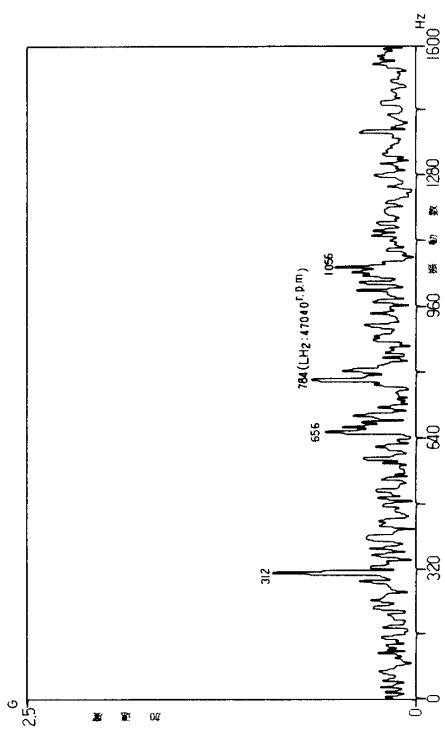
第6-2図 HST-1001-1-3 振動記録の概要 (フィルタ: 2.24 kHz)



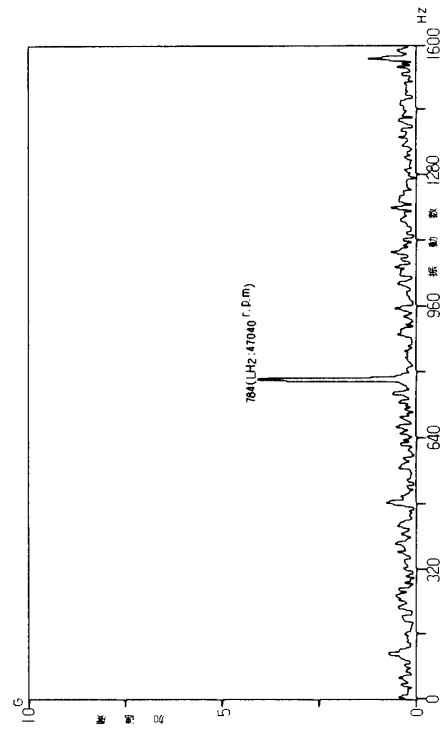
第7-3図 HST-1001-1-3, X~X+39 SEC, VC-1
(エンジン軸方向)



第7-4図 HST-1001-1-3, X~X+39 SEC, VC-2
(エンジン横方向)



第7-1図 HST-1001-1-3X+20 SEC, VP-1
(LOXポンプ回転方向)



第7-2図 HST-1001-1-3, X+20 SEC, VP-2
(LH₂ポンプ回転方向)

4. む す び

以上振動計測の概要について述べた。

計測装置は従来から燃焼試験、環境試験等で使用してきた実績のあるもので問題ないが、極低温の計測は初めての経験であった。検出器は仕様上低温用を使用したが高低温にはまだ不足し、冷却効果により発生する衝撃状のノイズに悩まされた。特に緊急停止回路を組み入れてから有意性のない衝撃で緊急停止させ迷惑をかけた。取付方法、保温対策に試行錯誤をくり返し信頼性の向上に努力した。

最後に計測支援として振動計測を担当したが、緊急停止装置の設計、製作をされた小田技官、実験期間のその時々には貴重な助言を頂いた液水実験班各位に厚く感謝の意を表す。