

S-310-41 号搭載音波伝搬計測装置 PDI の開発

森永隆稔^{#1}, 山本真行^{#1}, 阿部琢美^{#2}

#1 高知工科大学^{#1}, #2 宇宙航空研究開発機構

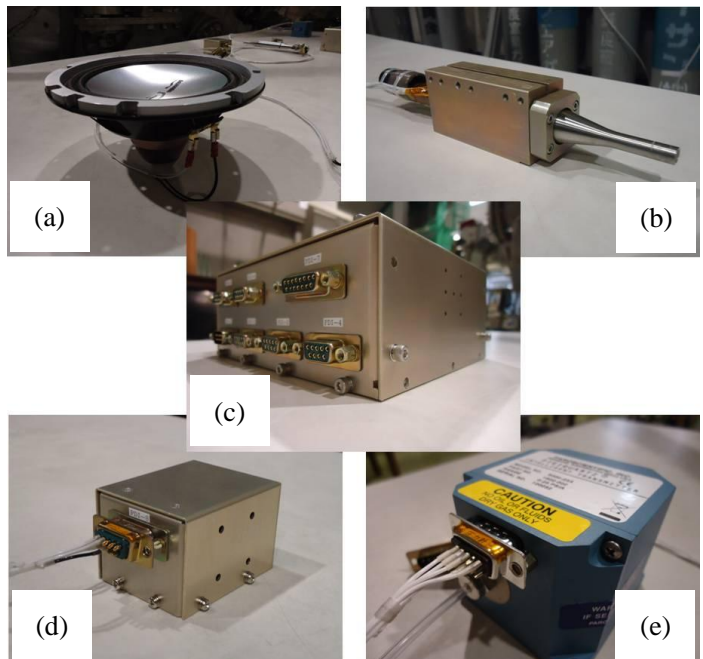
1. はじめに

我々は、宇宙科学研究所にある大型スペースチャンバを用いて、S-310-41 号観測ロケット搭載用音波伝搬計測装置 PDI (Propagation Diagnostics in upper atmosphere by Infrasonic/Acoustic waves) の開発を行っている。音波伝搬特性の計測は、観測ロケットが開発された 1950 年代から 1960 年代にかけて、グレネード弾を高度約 20 km から高度約 90 km で爆発させ、地上の複数点で観測から温度場と風速場を求めるグレネード法[1]があった。しかし、中間圏・下部熱圏において音波伝搬の直接計測を行った例はない。また、現在ではシミュレーションによる結果を用いるのが一般的である。そこで、本ロケット実験の目的は PDI による世界初となる希薄大気中での音波伝搬特性の直接計測を実施し、伝搬特性の高度プロファイルおよび音速から温度場を求めるとともに、シミュレーション結果との比較・検証を行うことである。

本研究では、大型スペースチャンバを使用して、観測ロケット搭載 PDI の校正用データを取得し、高知工科大学の宇宙工学実験用小型チャンバによる実験データとの比較を行い、出力信号と計測信号のアンプゲインを決定した。また、ロケット搭載条件を満たすために振動・衝撃試験を実施した。本稿では PDI を用いた実験および、計測結果について述べる。

2. 音波伝搬計測装置

ロケット頭胴部に搭載し音波伝搬を計測する PDI は、図 1 に示すスピーカ部 (a)、メインマイク部 (b)、エレキ部 (c)、サブマイク部 (d)、圧力計 (e) からなる。ロケット上昇時にエレキ部から 10 Hz から 1 kHz および無音の 8 音を 0.2 秒ずつ 1.6 秒毎に繰り返し、スピーカ部から出力 1 W で音波を送出する。また、ロケットの頭胴部開頭時およびメインペイロード分離時に使用する火薬の爆発音を音波源として、メインマイクと 2 台のサブマイクの計 3 台を用いて音波を計測する。なお、各マイクのスピーカからの距離が、メインマイクが約 4 cm、エレキ部内の基板上に設置したサブマイク 1 が約 6 cm、サブマイク部のサブマイク 2 が約 34 cm となるよう設置する。また、圧力計によりロケット飛行時の周辺大気の絶対圧を計測する。なお、ノーズコーン開頭までの期間でもロケット頭胴部内をより周辺大気圧に近くするためロケット機壁にリーク穴を開けている。



*1 平成 2012 年 4 月より北海道大学大学院所属

図 1 PDI 構成機器

3. 大型スペースチャンバでの校正実験

大型スペースチャンバを用いた音波伝搬特性計測装置 PDI の校正実験は以下のように実施した。

図 2(左)のように真空チャンバ内にフライトモデルの PDI 各機器を設置した。スピーカおよび各マイクの距離をロケット内に設計図面を模擬して配置した。実験手法としては、図 2(右)に示したように PDI を真空チャンバ内に設置し、チャンバの外側ではデータ取得を2通りの方法で行った。1つは実際のフライトを模擬して PDI 計測データを模擬テレメータ中継装置を介して S-310-41 号機のフレーム・ワード表に従ってバイナリデータを PC で取得する方法、2つ目は PDI の各マイクが取得したアナログ信号を計測用 PC のサウンドボードに入力し、AD 変換する方法である。なお、今回の解析では PC のマイク端子から入力したデータを用いた。

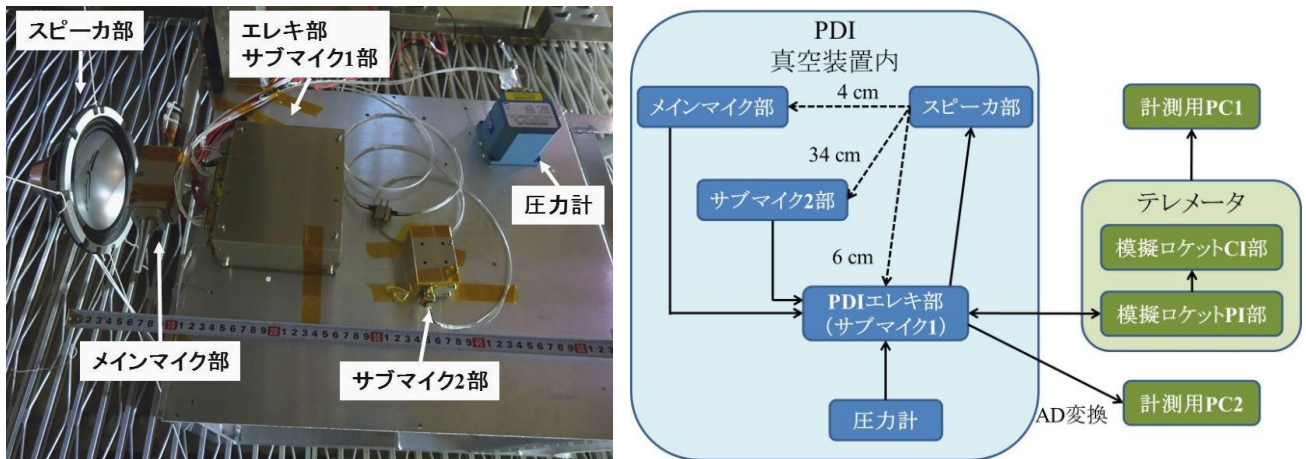


図 2 PDI の真空チャンバ内設置状況(左)と計測実験のシステム概要(右)

4. 環境試験

観測ロケット搭載条件として環境試験をクリアしている必要がある。試験内容は大きく2つに分けられ、搭載機器ごとに行う単体環境試験と全ての搭載機器をロケット頭胴部に組み付けて行う頭胴部環境試験である。試験内容としては、単体環境試験では、真空試験、振動試験、衝撃試験、熱試験がある(表 1)。また、頭胴部環境試験については単体環境試験に加え、電気的噛合せ試験、噛合せ(頭胴部組み付け)試験、磁気シールド試験、スピントイマ試験がある。

PDI においては、兼松エンジニアリング(株)の岩本敏宣氏に固有値振動解析を実施していただいた。この結果から問題がないことを確認し、メインマイク部およびスピーカ部の振動・衝撃試験を高知県工業技術センターにて実施した(図 3)。その他の機器についてはアンプゲインの変更などの都合により 2012 年 3 月に実施した。また、真空試験は大型スペースチャンバでの校

表 1 環境試験条件

試験名	試験条件
真空試験	1 mmHg (約 133 Pa) で 20 分間
振動試験	10 Hz ~ 35 Hz 3.06 mm ^(0-p)
	35 Hz ~ 400 Hz 7.5 G ^(0-p)
	400 Hz ~ 2,000 Hz 15 G ^(0-p)
衝撃試験	40 G ^(0-p) , 8 ~ 10 ms
熱試験	室温 → 50℃ → 0℃ → 室温 (各 20 分で変化)

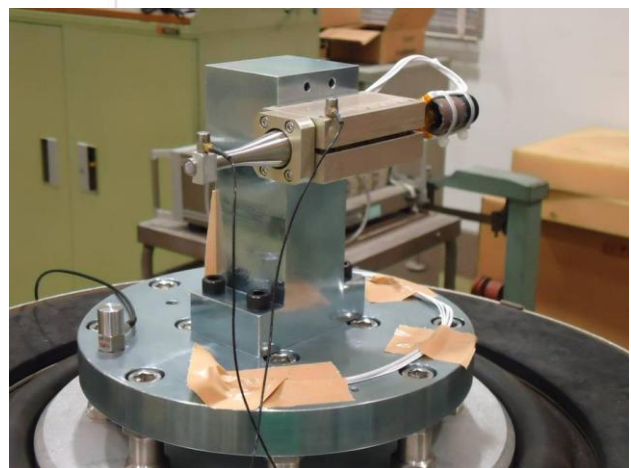


図 3 メインマイク振動・衝撃試験

正実験で正常に動作することを確認した。

5. 実験結果

観測ロケット搭載用音波伝搬特性計測装置 PDI の較正実験を 2 台の真空チャンバにて実施した。計測はメインマイクおよび 2 台のサブマイクの計 3 台について、スピーカからの出力電力 1 W で、気圧 10^5 Pa から 10^4 Pa までの周波数 10 Hz から 1 kHz までの音波伝搬特性計測を実施し、ロケット実験のための較正データを取得した。本実験により大気圧が低下することにより、音波の伝搬強度も減少することに加え、各マイクの周波数特性が明らかになった。

図 4 は大型スペースチャンバで PDI により計測した結果であり、(a)は気圧 1.0×10^4 Pa、出力周波数 500 Hz においてメインマイクにより計測した受信信号のパワースペクトル、各気圧における音波伝搬特性を得るため (b) はメインマイク、(c) はサブマイク 1、(d) はサブマイク 2 について示した周波数ごとの受信信号強度 (当該周波数成分のパワー値) の図である。気圧が 1.0×10^4 Pa から 1.0×10^3 Pa に下がると約 20 dB 減少している。また、 1.0×10^1 Pa 以下では、明確な信号強度の変化は見られない。

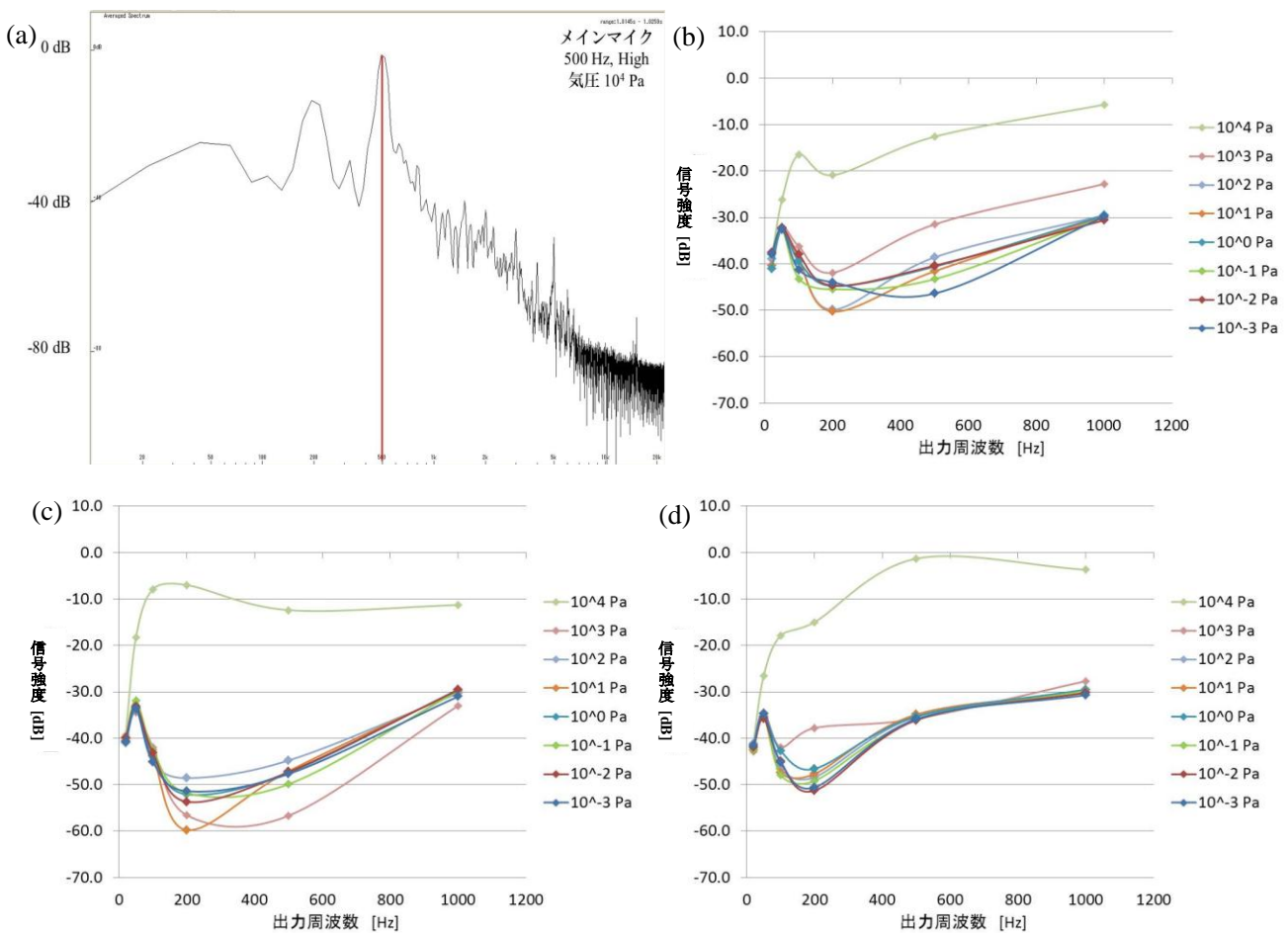


図 4 大型スペースチャンバによる受信信号のパワースペクトルと音波伝搬特性実験結果

6. まとめ

我々は、宇宙科学研究所の大型スペースチャンバと高知工科大学の小型真空チャンバにて、S-310-41 号観測ロケットに搭載する音波伝搬特性計測装置 PDI の較正データを取得した。その結果、民生品であるスピーカとメインマイクおよび、サブマイクを搭載した PDI は高真空環境下 (1.0×10^{-4} Pa) でも正常に動作し、近接距離での音波計測を行えることを確認するとともに、実際のロケット飛翔実験との比較を行うための周波数特性データを取得した。しかし、地上実験では計測用 PC の雑音および実験室内にある他の機器などによる環境雑音やスピーカの出力不足、管状の真空チャンバ内における共鳴波などにより詳細な変化の読み取りには限界がある。

参考文献

[1] Stroud, W. G., W. Nordberg, W. R. Bandeen, F. L. Bartman, and P. Titus, Rocket-Grenade Measurements of Temperatures and Winds in the Mesosphere over Churchill, Canada, *J. Geophys. Res.*, **65**(8), 2307–2323, 1960.