

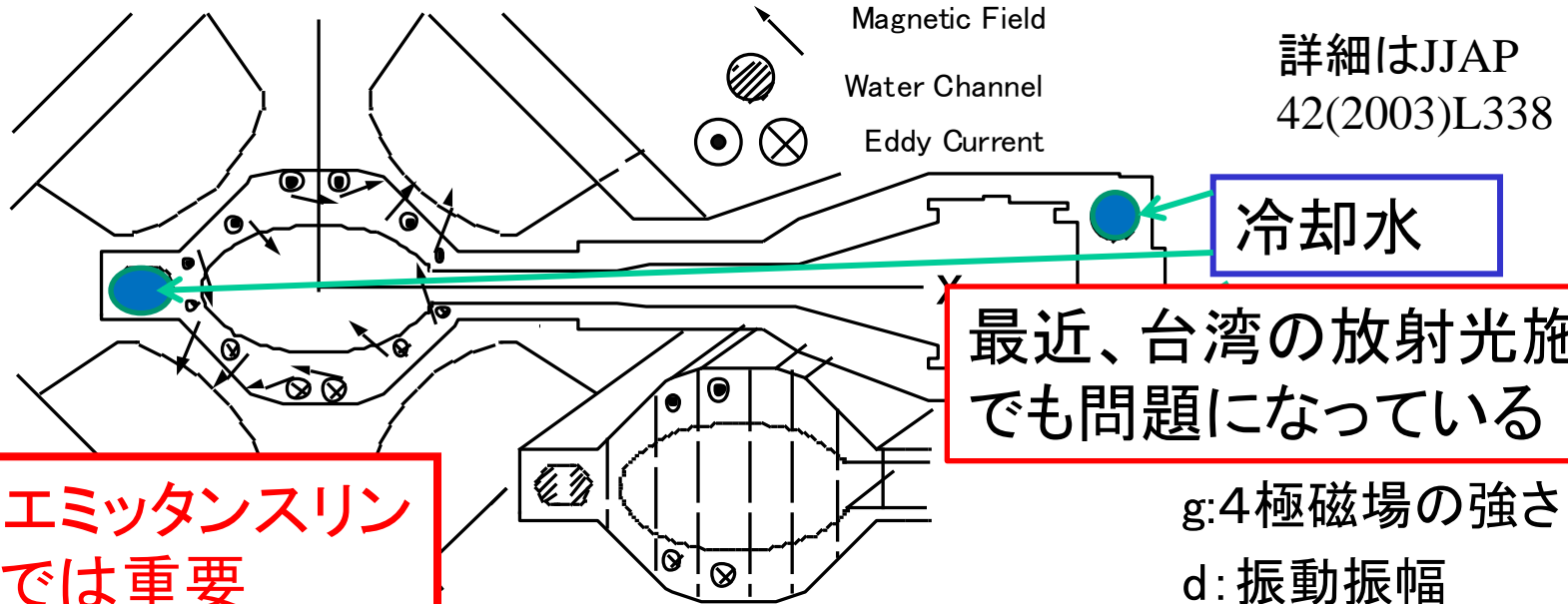
SPring-8蓄積リング冷却施設から収納部への振動の伝搬経路の推定と除振改造による収納部床振動の減少

理研(放射光科学総合研究センター)
松井佐久夫

- 1)なぜ真空チャンバーの振動が重要なのか
 - 2)蓄積リング冷却施設
 - 3)これまでの振動低減の調査・試み
 - 4)最近の除振工事
 - 5)工事前後の測定結果
 - 6)まとめ
- 2003年発表のおさらい

1)なぜ真空チャンバーの振動が重要なのか

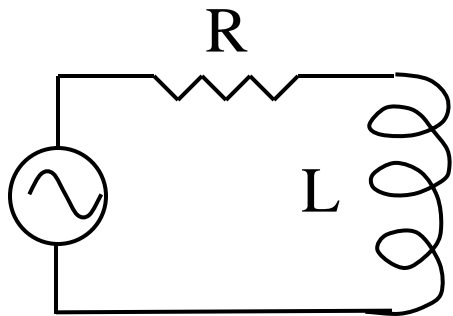
4極磁場中のアルミチャンバーの振動により発生する磁場



- g: 4極磁場の強さ
- d: 振動振幅
- ω : 振動角速度
- R: 実抵抗
- L: インダクタンス

$$B'_X = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{R}{\omega L}\right)^2}} g d \sin(\omega t)$$

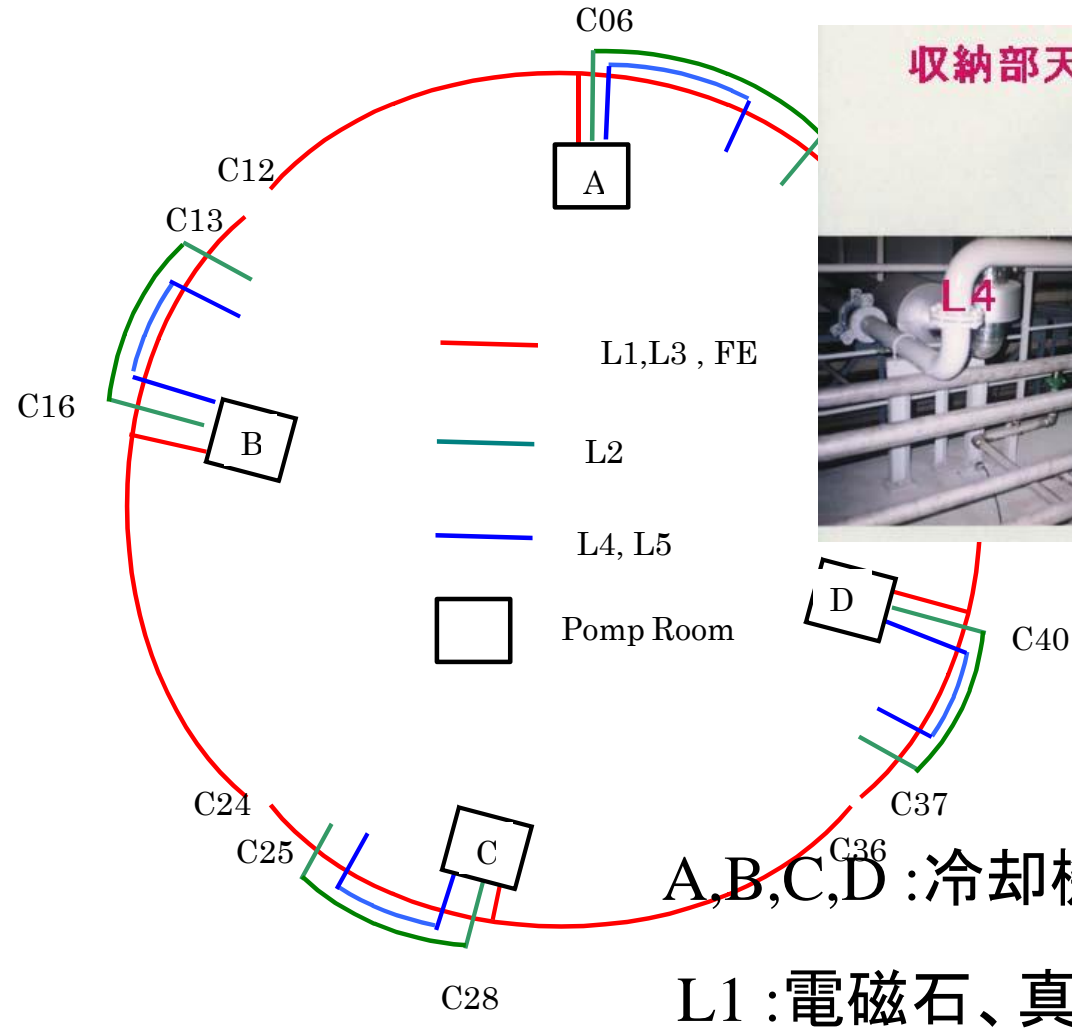
$$B'_X = g d \sin(\omega t) \quad R \ll \omega L$$



AIの厚さが厚い、周波数が高い領域

2) 蓄積リング冷却施設

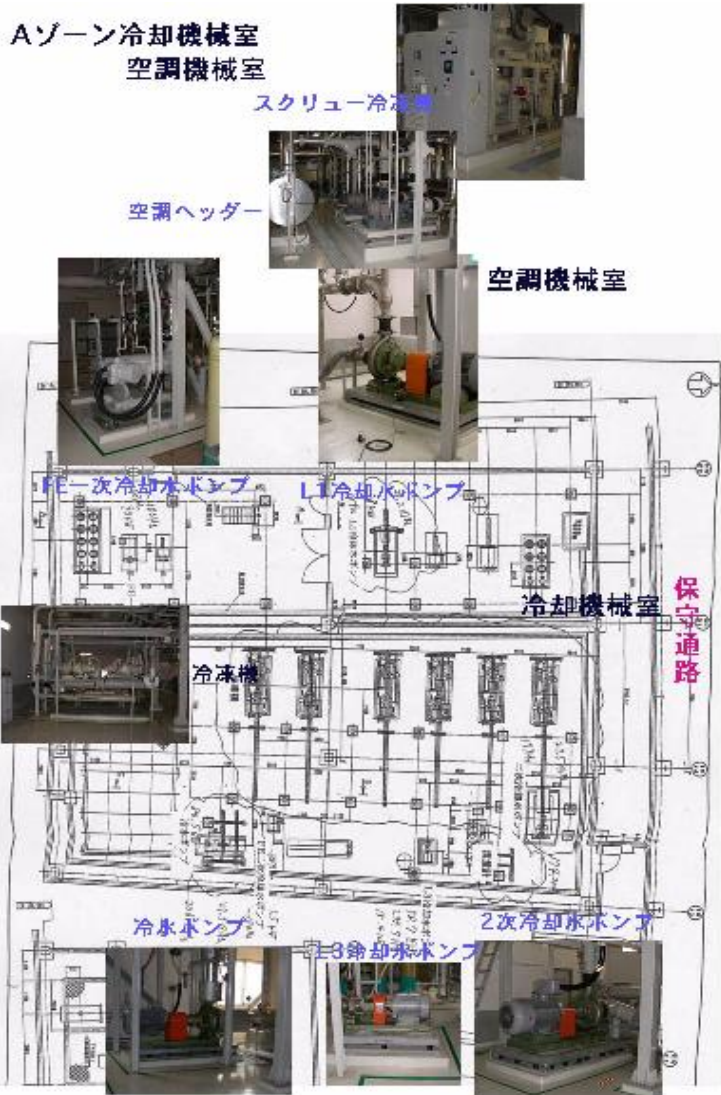
収納部天井冷却水配管



冷却ポンプ

	2次冷却水	L1冷却水	FE1次冷却水
モーター出力(kW)	174	78	90
回転数	29.5	29.5	~30
羽根	6枚	6	6
周波数	177Hz	175	~180

トンネル



2次冷却水ポンプ



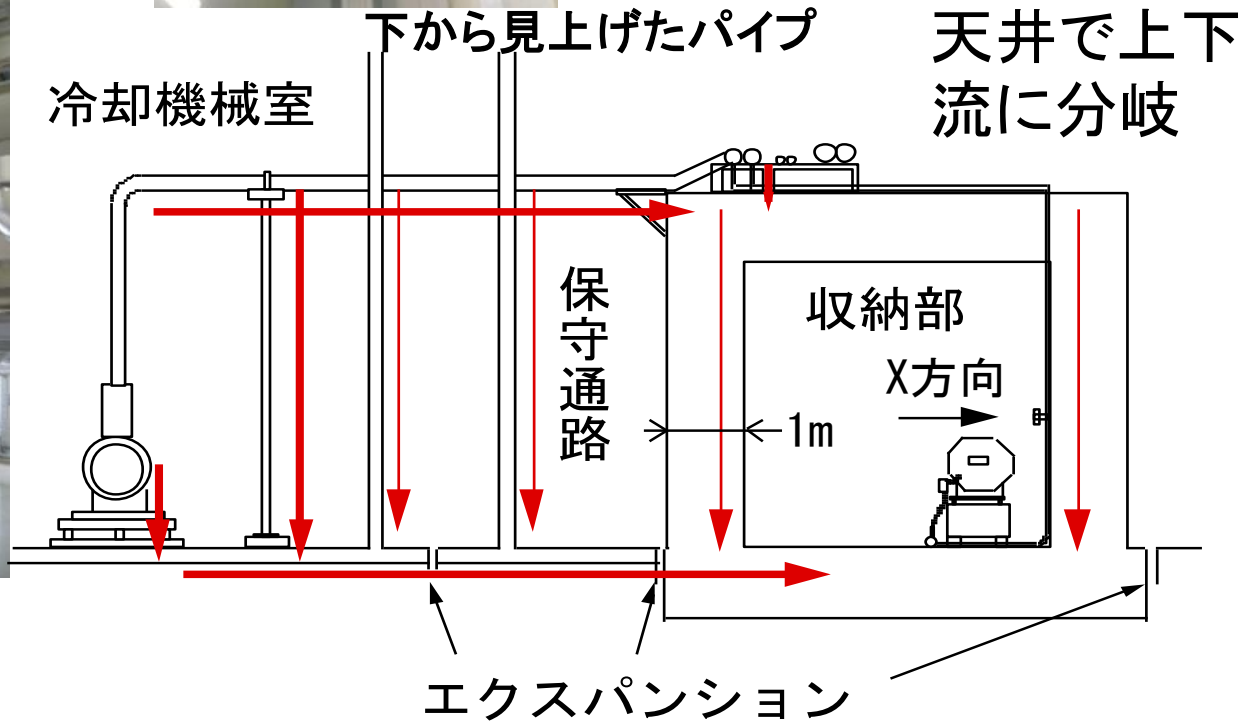
L1冷却水ポンプ

機械室から収納部への振動の伝搬

- 1) 床を伝搬
- 2) 冷却配管を伝搬



配管と支柱



3)これまでの振動の調査と低減の試み

- ・建設直後 1996年

Cゾーン測定 機械室から、収納部へ距離と共に対数で直線的に減衰している。機械室全体としての振動が床を、収納部まで伝搬していると推測。

- ・日揮(株)による調査 1999年

Cゾーン測定 機械室で床への振動の伝搬はポンプからより支柱からの方が大きい、
収納部床面の振動は、収納部天井への配管より床の伝播が支配的と評価、機械室全体としての振動が床を、保守通路を通り伝搬していると推測。機械室から遠いところでは冷却水循環による要因が支配的と評価。

30Hz、60Hz弱のピークはポンプの脈動が原因と判断。

・脈動対策 石川島播磨重工業(株) 2000年～

低脈動ポンプ:ねじポンプでテストしたが必ずしも下がらず。

アキュムレーター試作:収納部でテストした。

二重になっており
ゴムとガスで脈動
を吸収する

アキュムレーター

圧力センサー

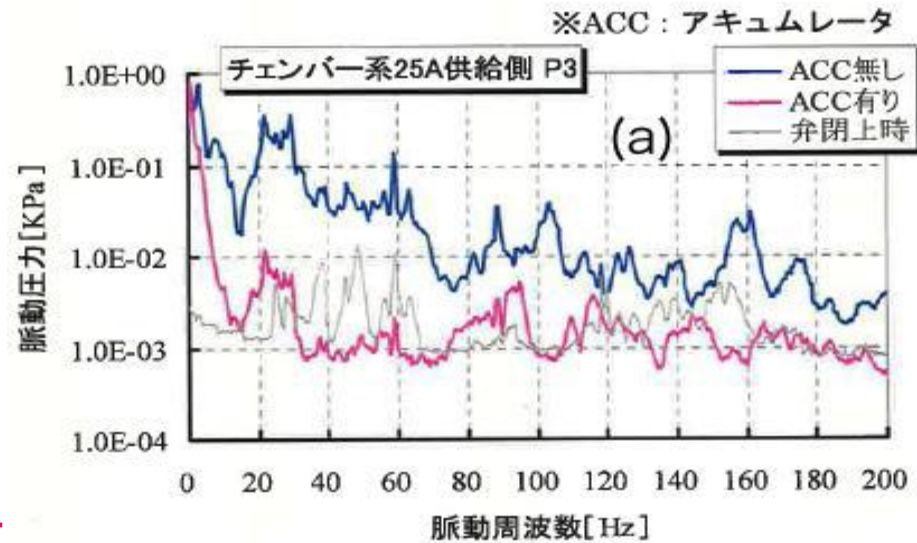


アキュムレーターの効果

冷却水の脈動
(アキュムレーターの
下流)

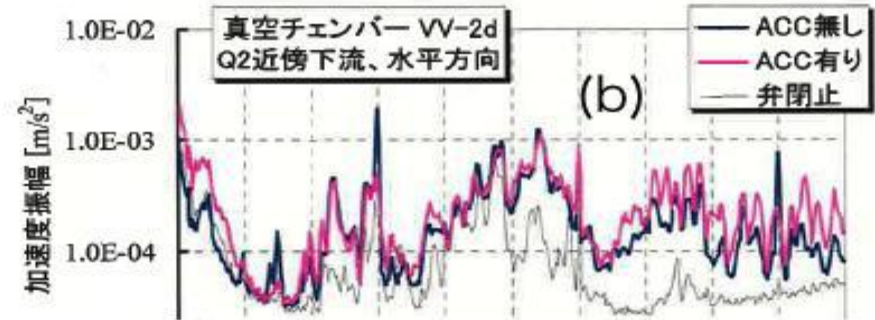
差: 有り

青: ACC無
ピンク: ACC有



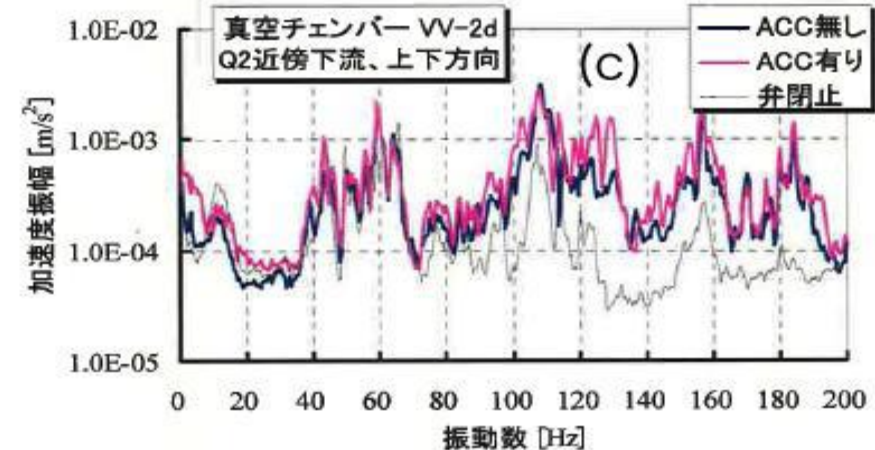
真空チャンバーの
振動(水平方向)

差: 無し



真空チャンバーの
振動(垂直方向)

差: 無し



真空チャンバーの振動がビーム振動の原因と判明した

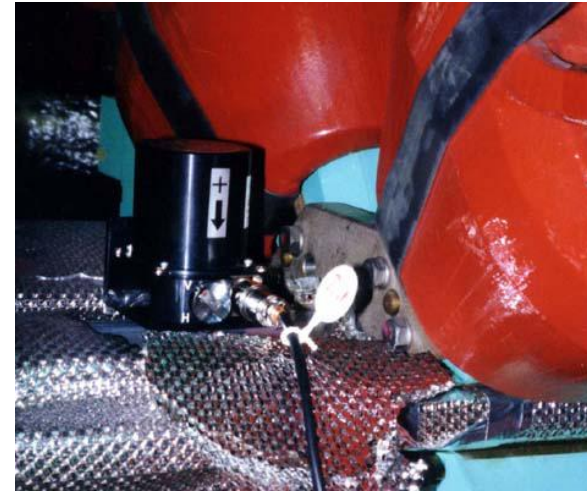
- ・チャンバーの振動対策 2002年～
 - アブソーバーにつながる部分の物理的固定
 - 配管系統の分離
 - ステンレスの板によるチャンバーの固定
 - ビーム振動は大きく減少
- ・冷却水以外の振動源調査 2003年～
 - 高さ5mの収納部の天井とかの配管と細長い構造のため振動が遠くまで伝搬すると判明。
 - その架台に流れる冷却水を全部止めても真空チャンバーの振動の半分は残る。
 - 床からの振動の寄与

冷却水を開閉し、チャンバーの振動測定

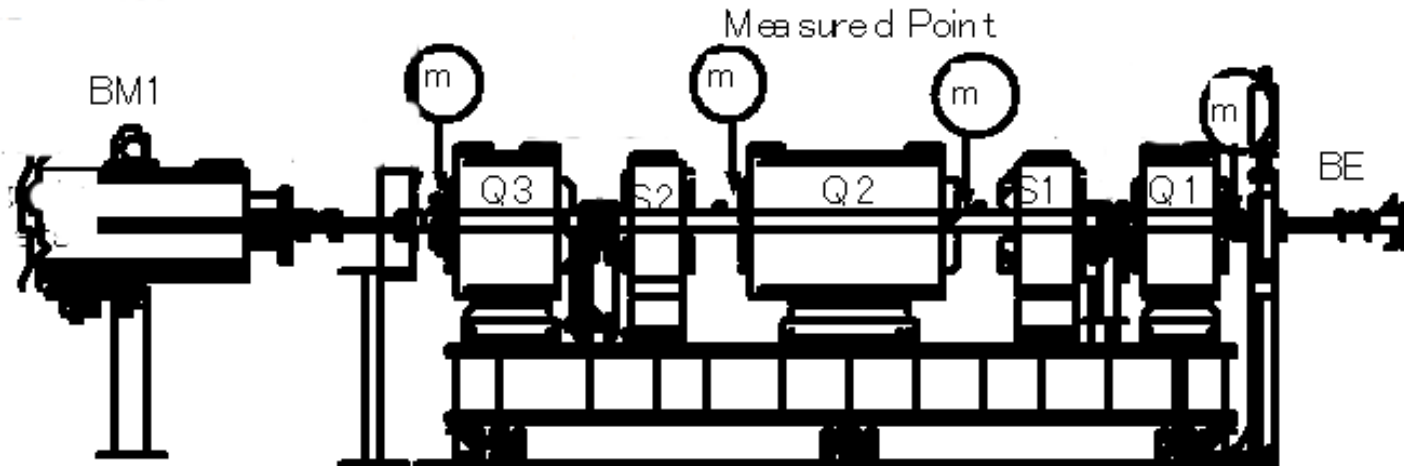


真空入 磁石入 磁石出 真空出

4つの
バルブ

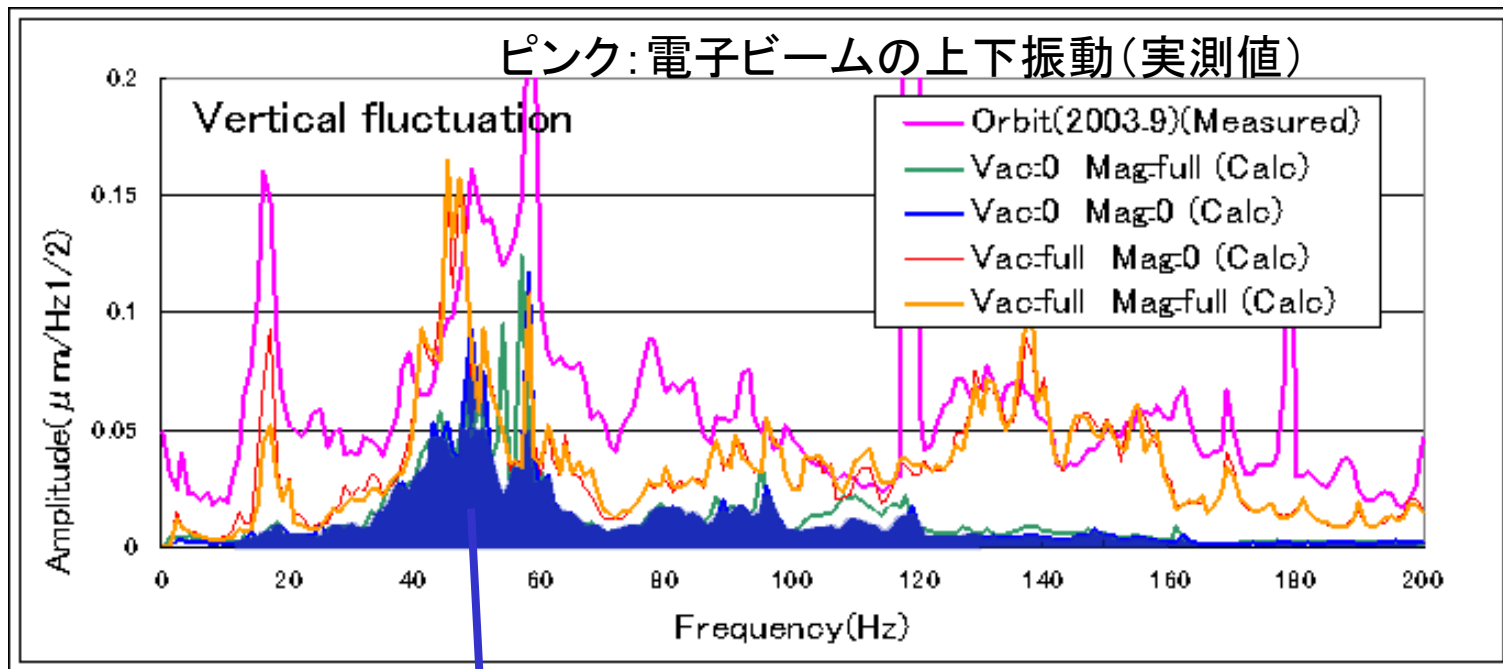


全架台144中19架台測定



チャンバーの上下振動と冷却水

オレンジ: 架台上の電磁石、真空機器 冷却水通水時
青: 架台上の電磁石、真空機器 冷却水停止時



青=床からくる振動

2003.8.測定

バルブを閉じても半分の振動は残る

---- このあたりまで2003 年加速器科学研究発表会のおさらい -----

振動の半分は冷却水ではなく床からきている。

・床の振動の低減のために

振動源と伝搬経路の特定

振動源=今回は機械室内のポンプ+配管とする

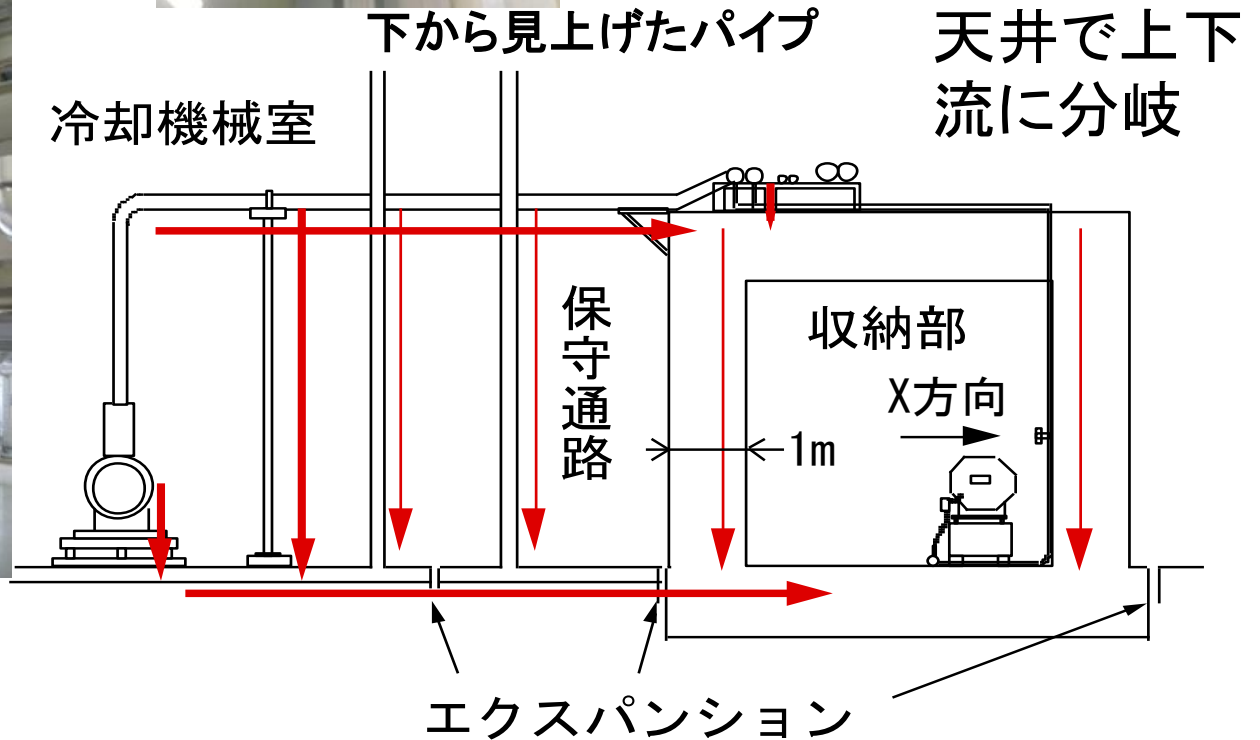
伝搬経路を特定する

機械室から収納部への振動の伝搬

- 1) 床を伝搬
- 2) 冷却配管を伝搬



配管と支柱



床伝搬の根拠1

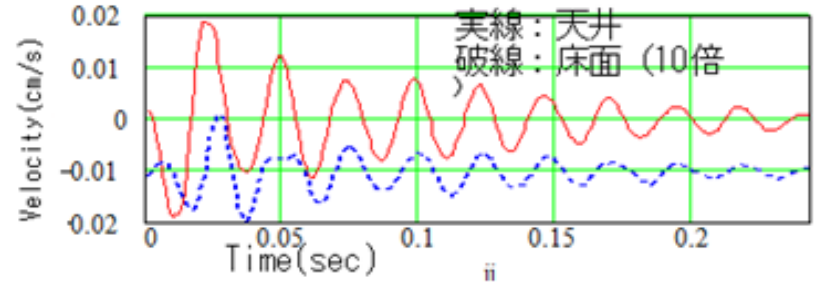
天井で跳ぶ→収納部
床への伝搬は振幅1/10

天井



振幅
1/10

床

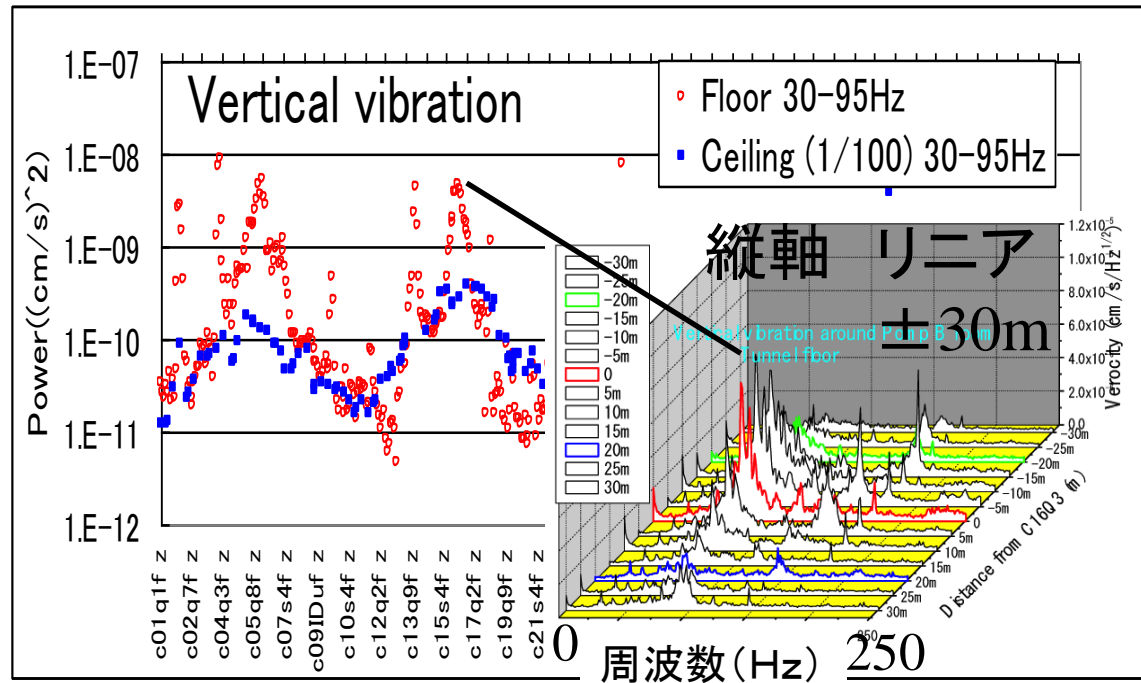


相反定理: 点i加振による点jへの周波数応答関数
= 点j加振による点iへの周波数応答関数

天井の振動
= 床の10倍

全周の天井と床の垂直方向振動のパワー分布

伝搬	天井	床
天井		
床		

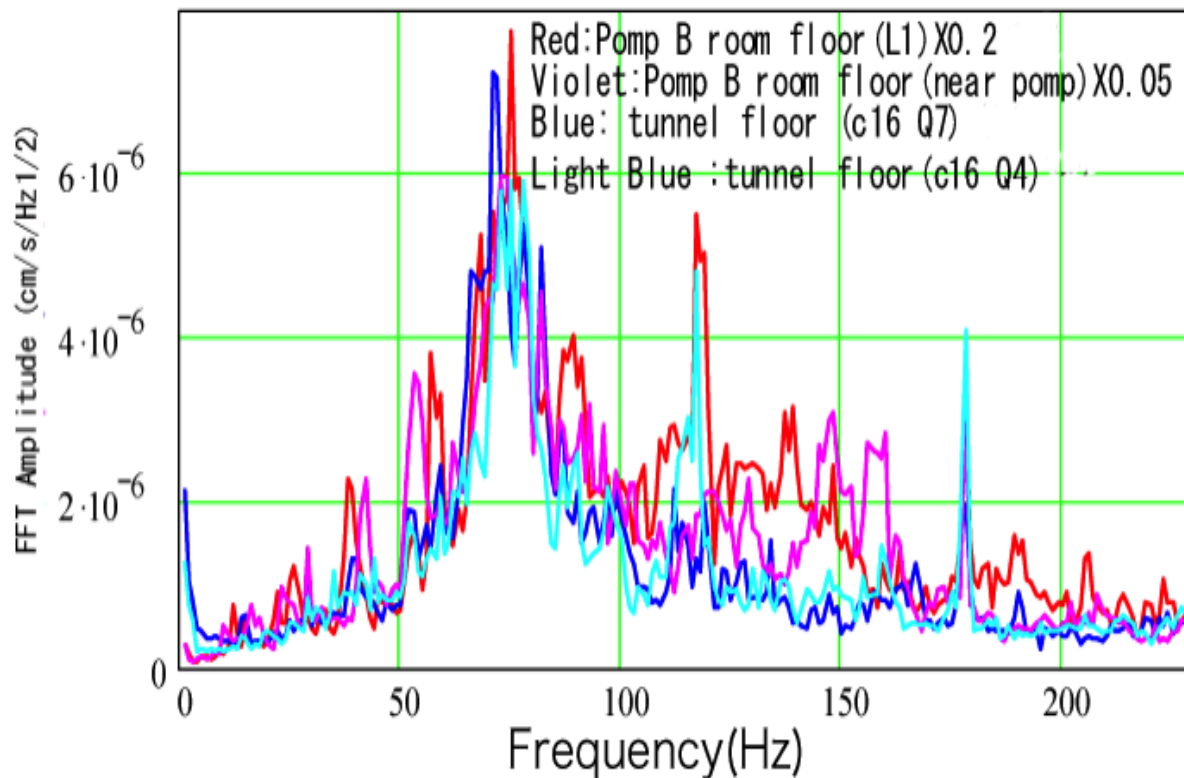


床伝搬の根拠2

スペクトルの相似

赤：機械室

青、空色：収納部床



床の伝搬が支配的と判断



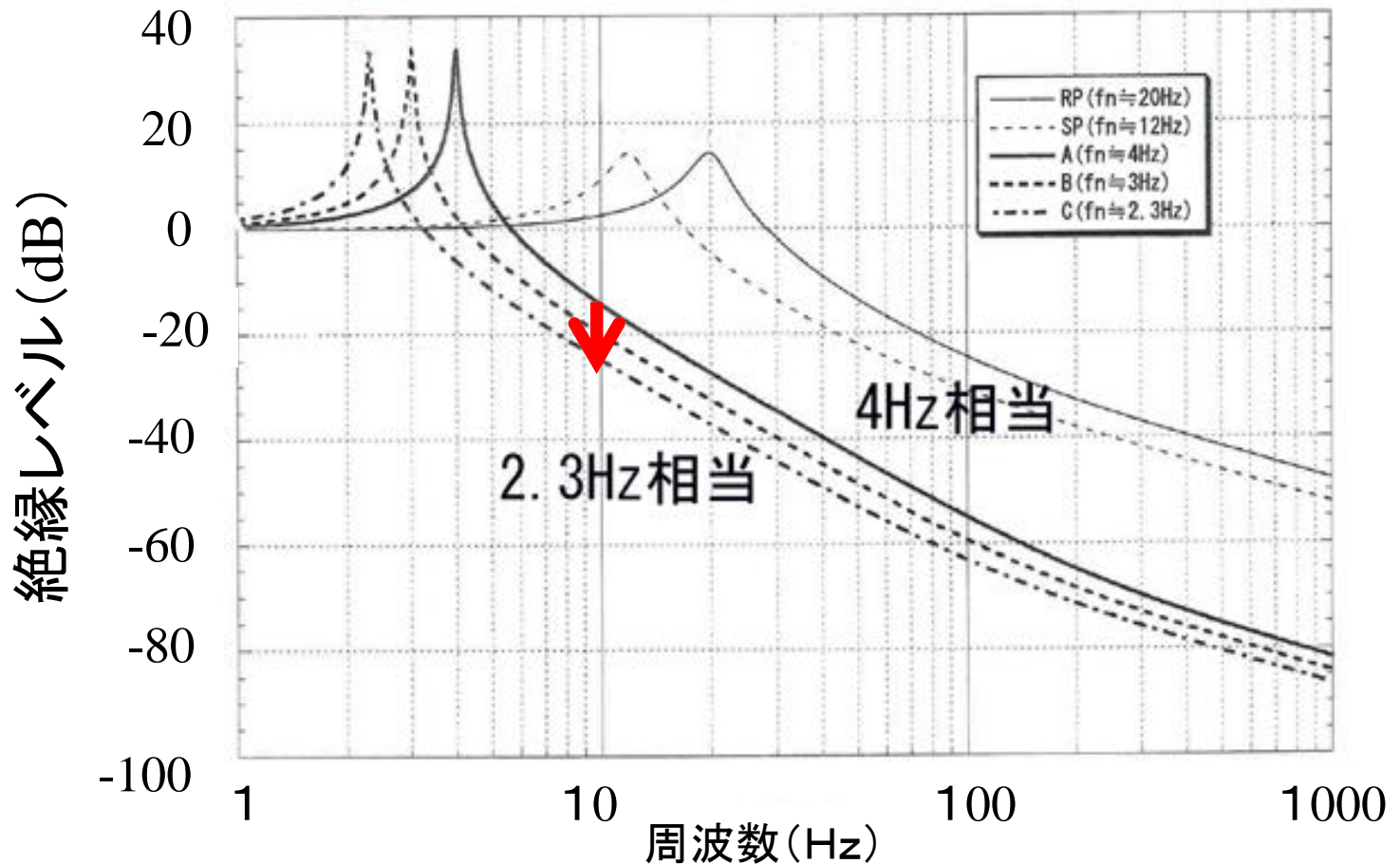
(施設の老朽化と効率アップのための
熱源更新工事に合わせ、)機械室の
床の振動を低減する除振工
事を実施(2014年1~3月)

4) 除振工事

・ 除振台のグレードアップ

ポンプから床への伝搬の減少

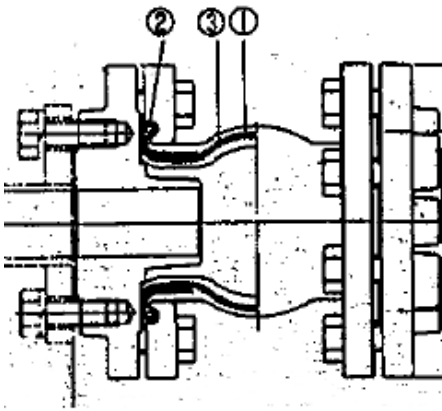
防振性能グラフ



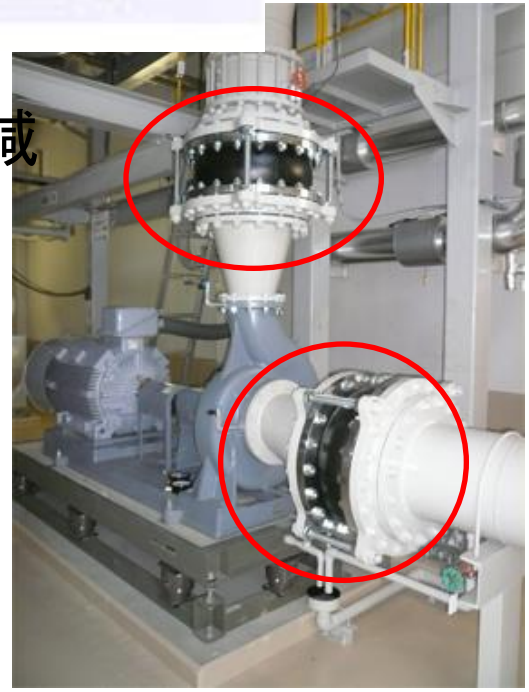
- 配管サポートへの防振ユニット(特許機器(株)製)の挿入



- パイプサイレンサーの挿入 騒音・脈動の低減



番号	名称	材質
①	本体	耐熱合成ゴム
②	ビードワイヤー	スチール
③	補強コード	タイヤコード



改造前後の振動測定 1 収納部床面

センサー: 動コイル型速度出力
Geospace製Geophone GS11D

ADC : 多チャンネルFFT
Graduo 24bit分解能、
1024Hzサンプルで60秒

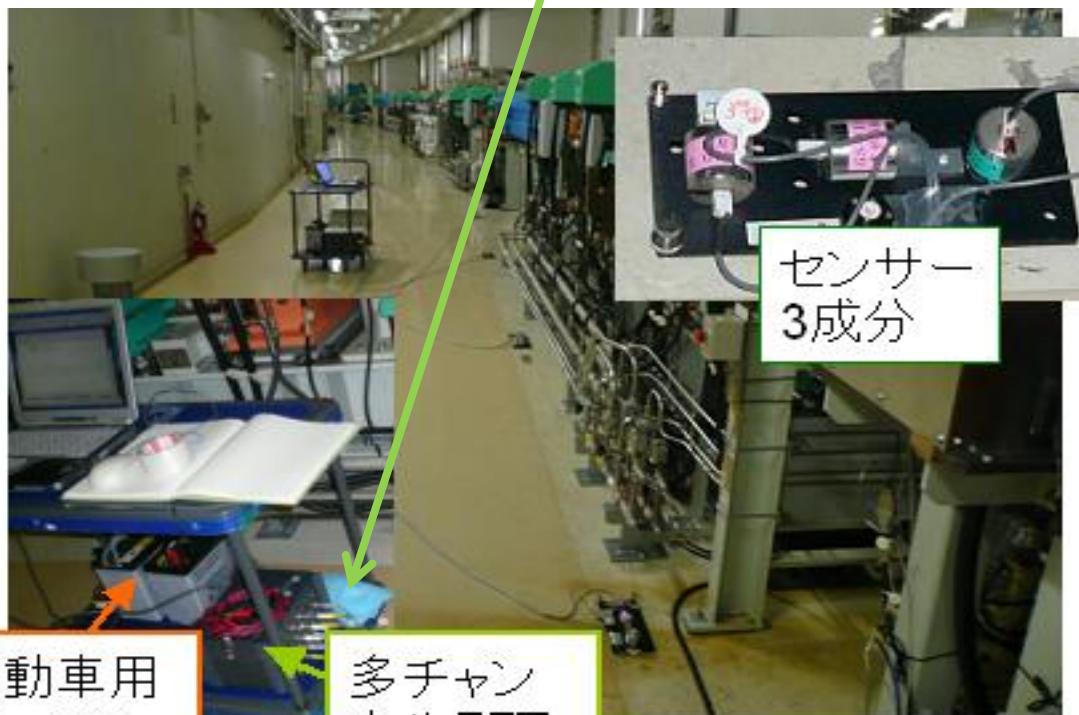
測定点 ~3.5m間隔
同時に4か所 12ch

架台の端から50cm離れた点
厚い塗装面を避けるため

多チャンネルFFT用

自動車用
バッテリー

多チャン
ネルFFT



速度センサー GS-11Dの周波数特性

サーボタイプより特性は安定している

固有周期4.5Hz

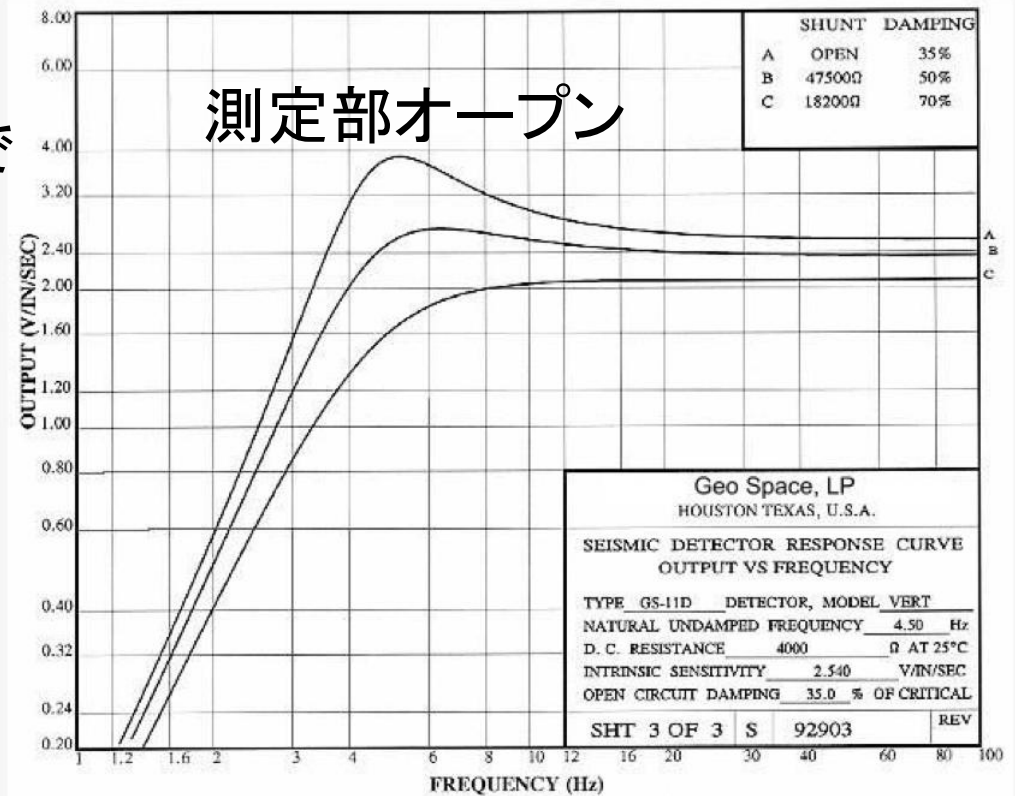
出力1V/(cm/s)=アンプなしで
直接AD変換できる

小型：直径3cm、長さ
3cmの円筒)

安価 1個 1万円

ケーブル=細い同軸
ケーブル使用可

GS-11D Seismic Detector Response Curve
Output vs. Frequency Chart (GS-11D @ 4.5 Hz @ 4000 Ohms)



1.0

10

100

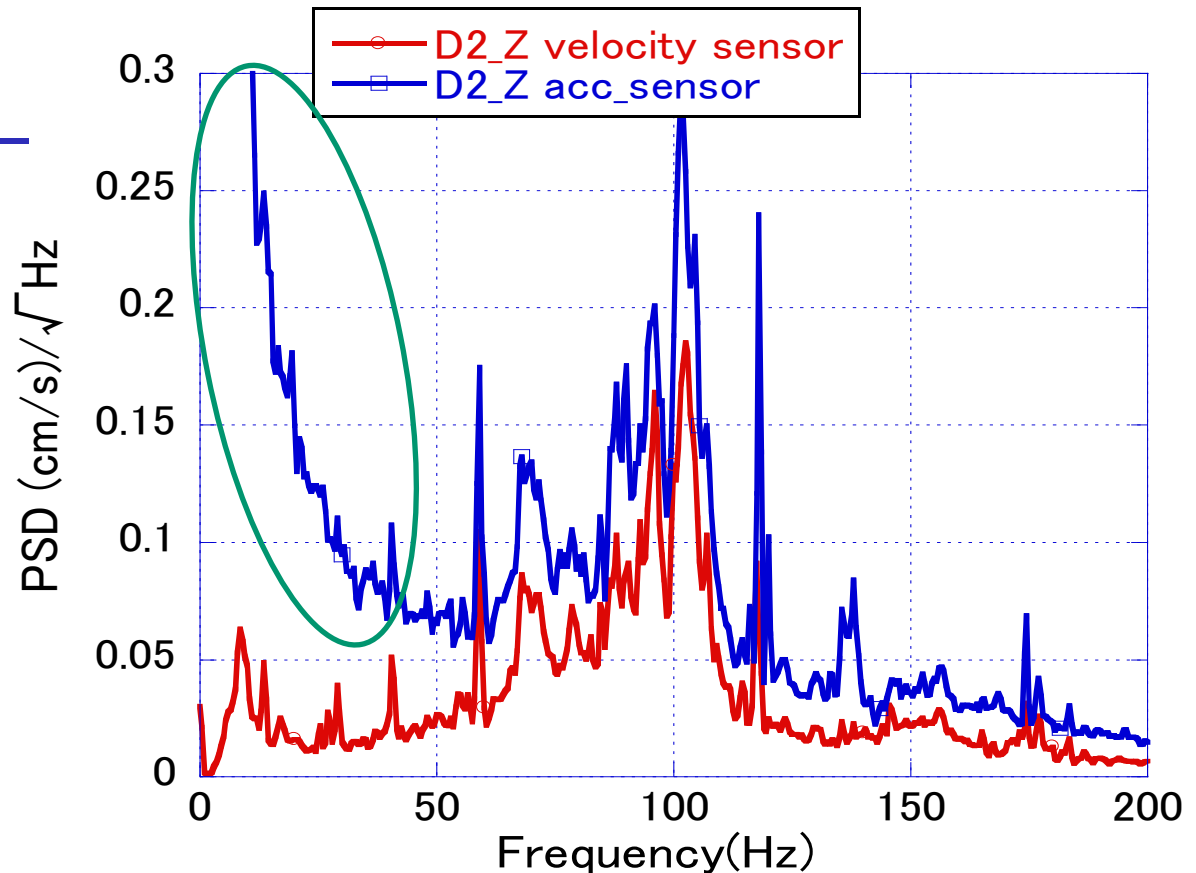
加速度センサーと速度センサーの違い

加速度(センサー)から速度に換算する場合:
スペクトルにしてから $2\pi f$ で割る

→低い周波数のところがわかりにくい

青: 加速度センサー

赤: 速度センサー

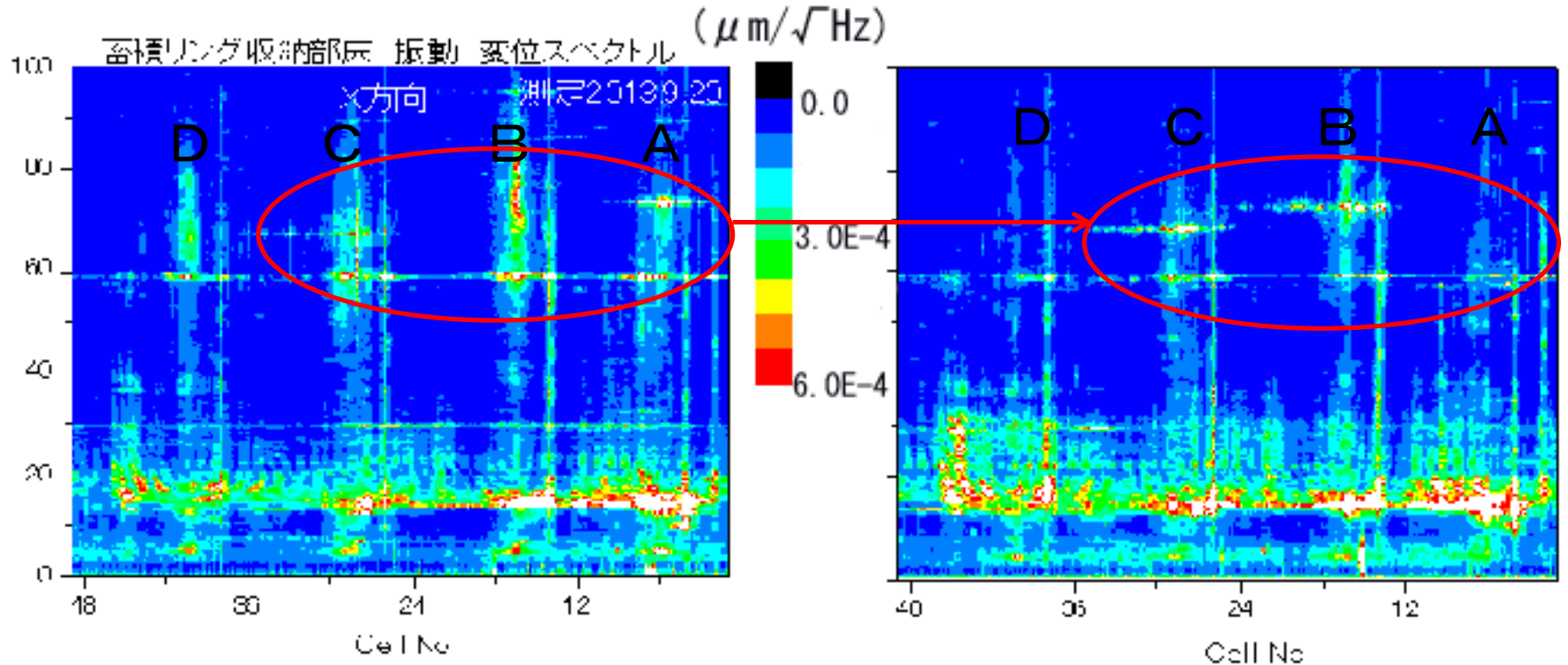


5) 測定結果1 収納部

全周での床振動の変化 (X方向)

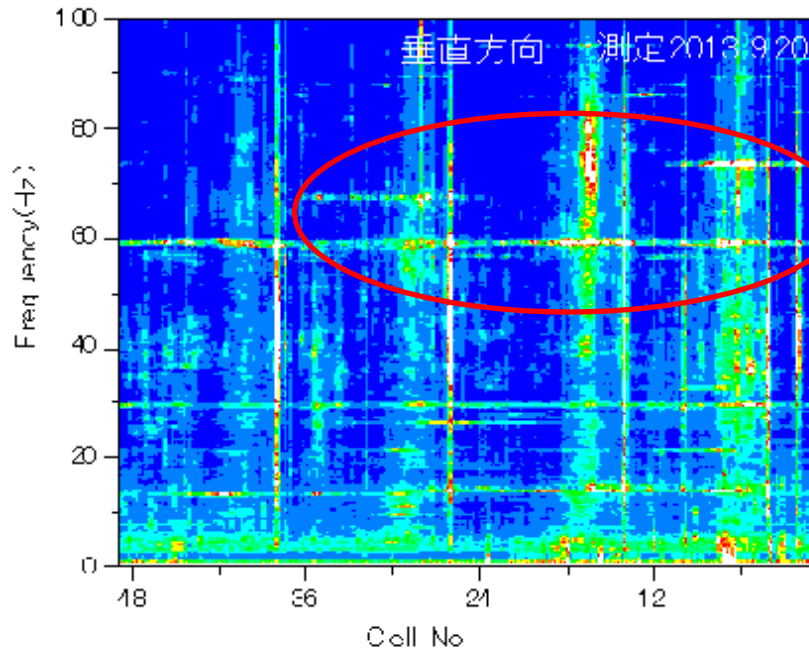
改造前

改造後

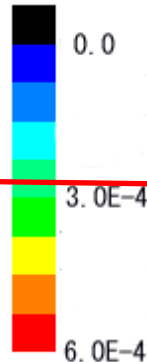


全周 垂直方向

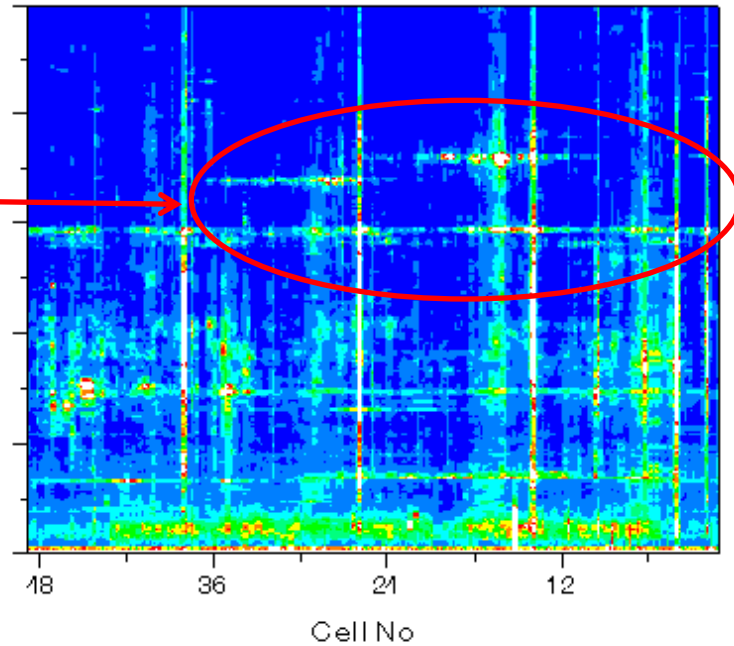
改造前



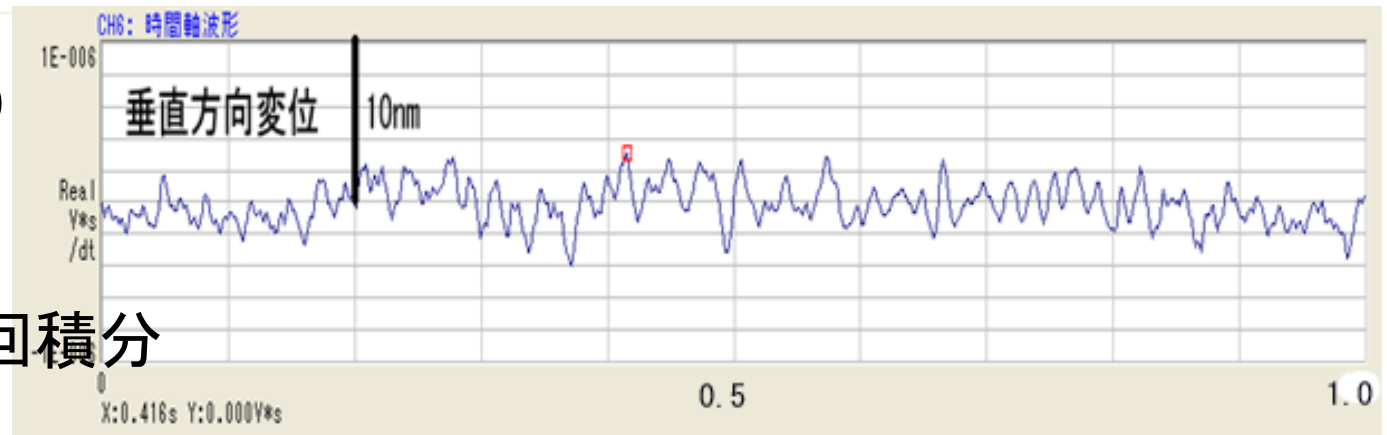
($\mu\text{m}/\sqrt{\text{Hz}}$)



改造後



時間波形 (1秒) 25セルQ2付近



速度出力を1回積分

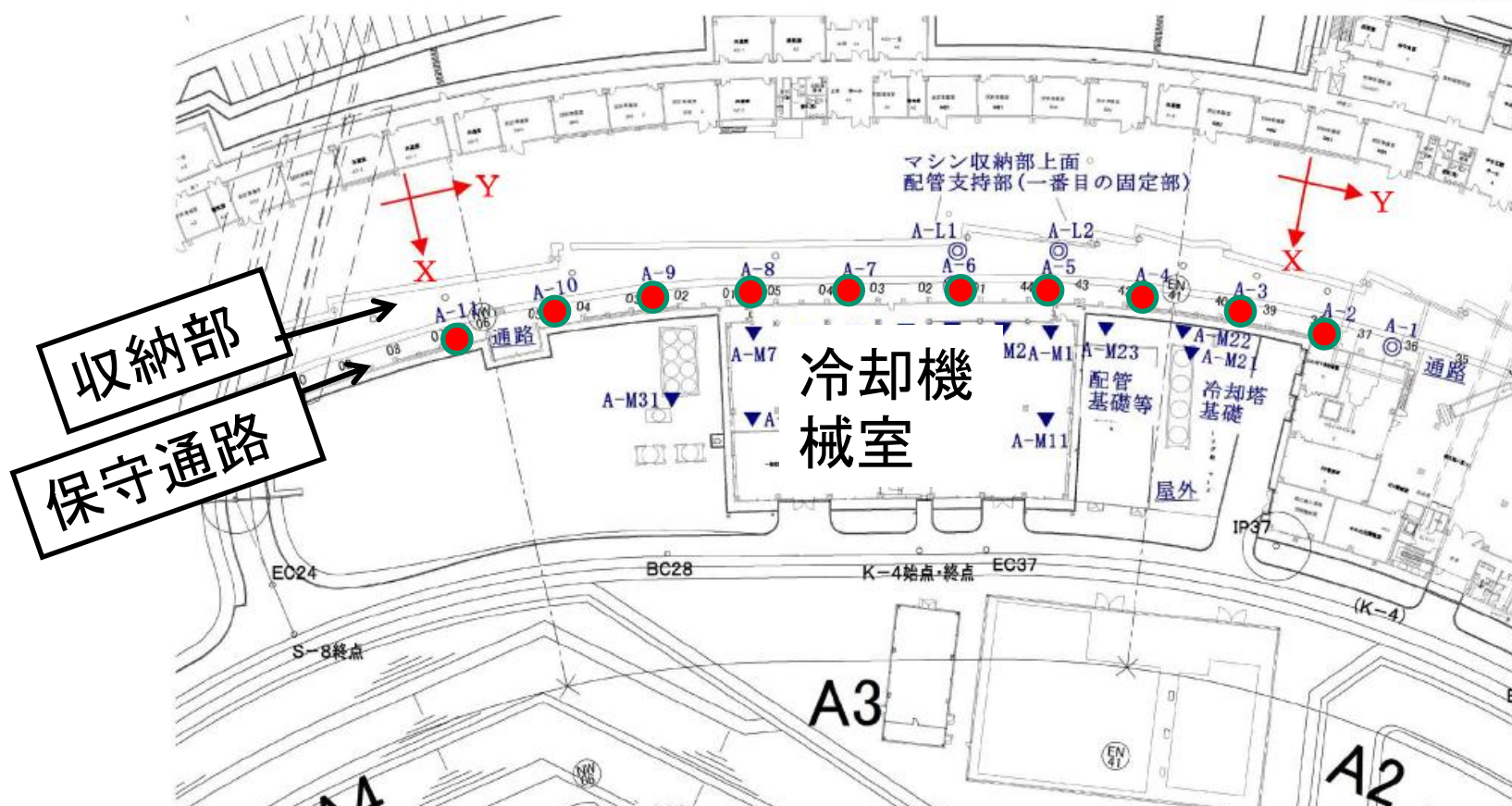
測定結果2 保守通路

測定点(Aブロック)

● A2~A11

測定点概略図(Aブロック)

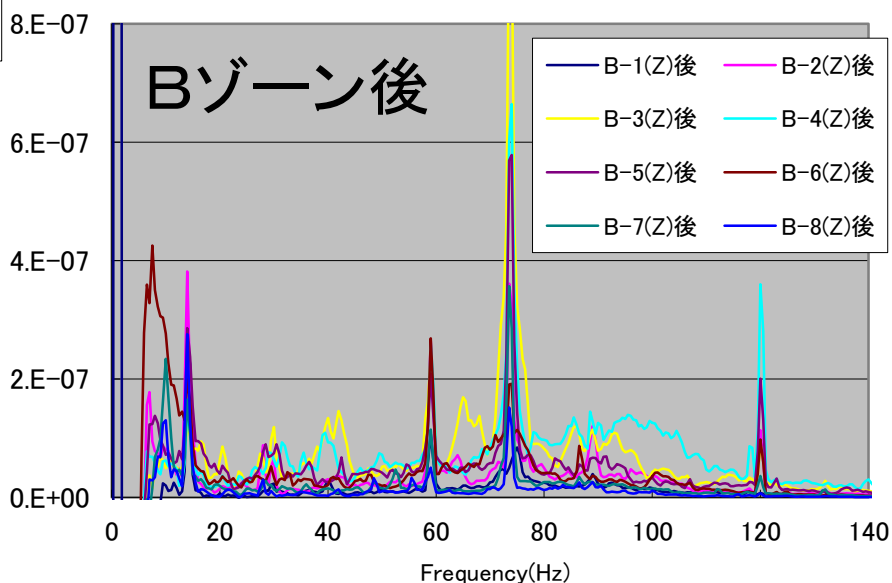
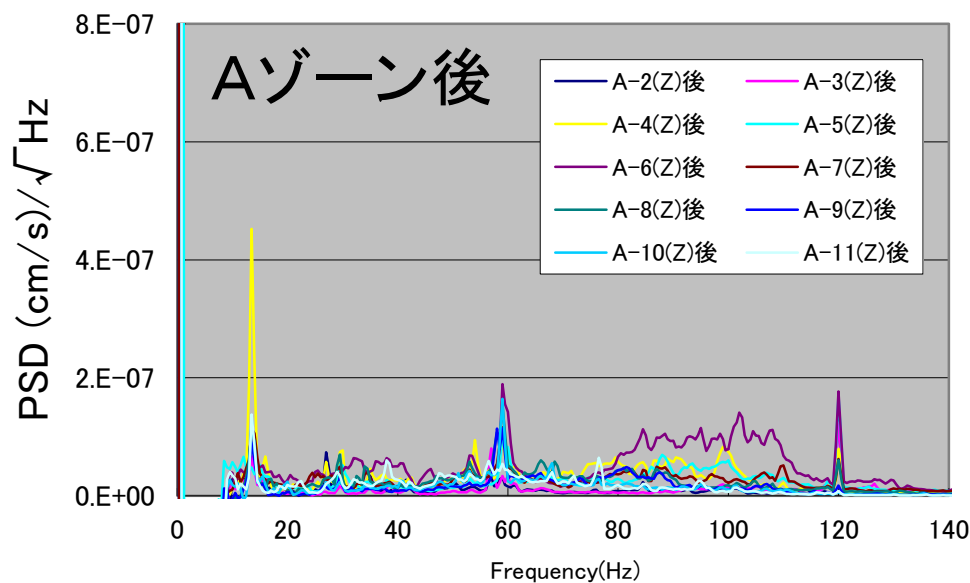
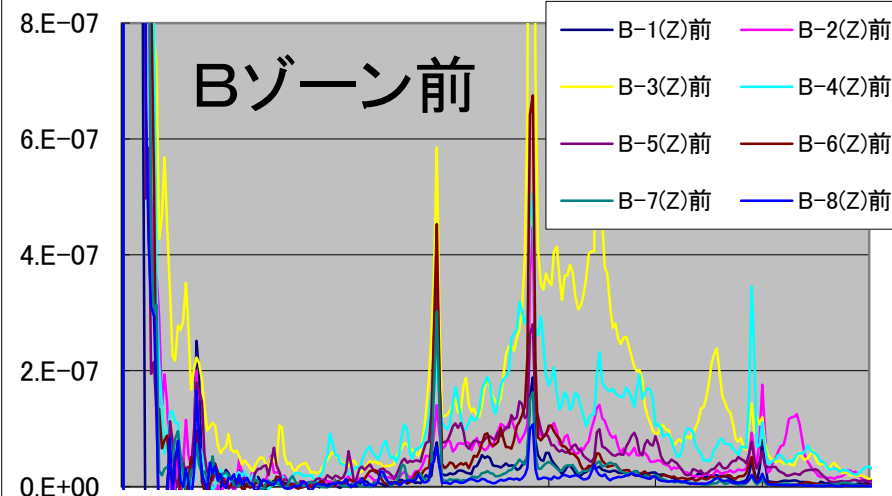
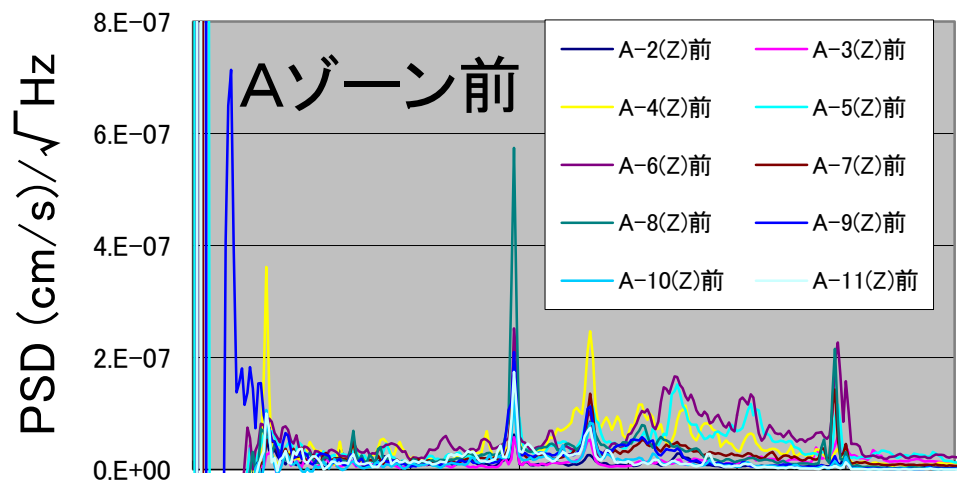
◎ : 振動測定点 (鉛直+水平方向) 13点
▼ : 振動測定点 (鉛直方向) 15点
計28点



Aブロック機械室及び保守通路

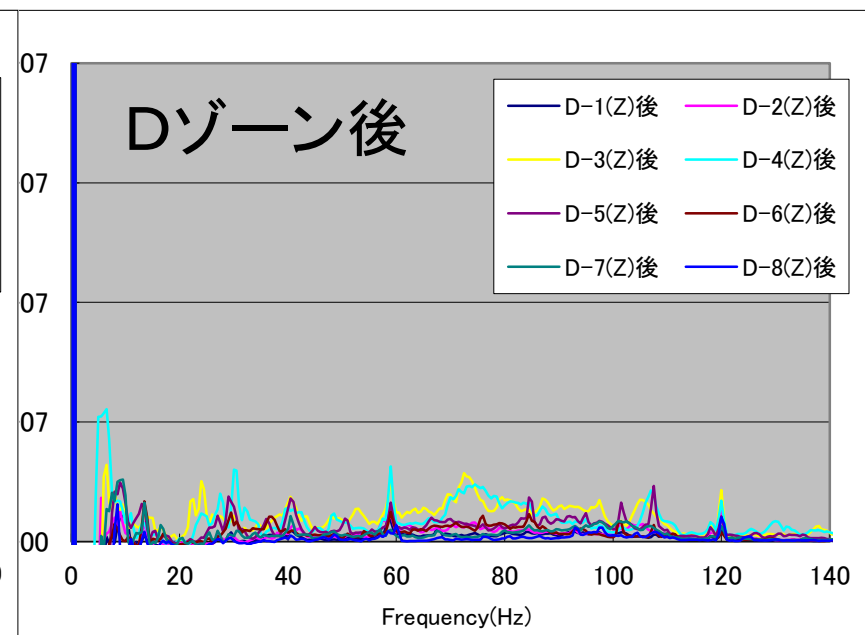
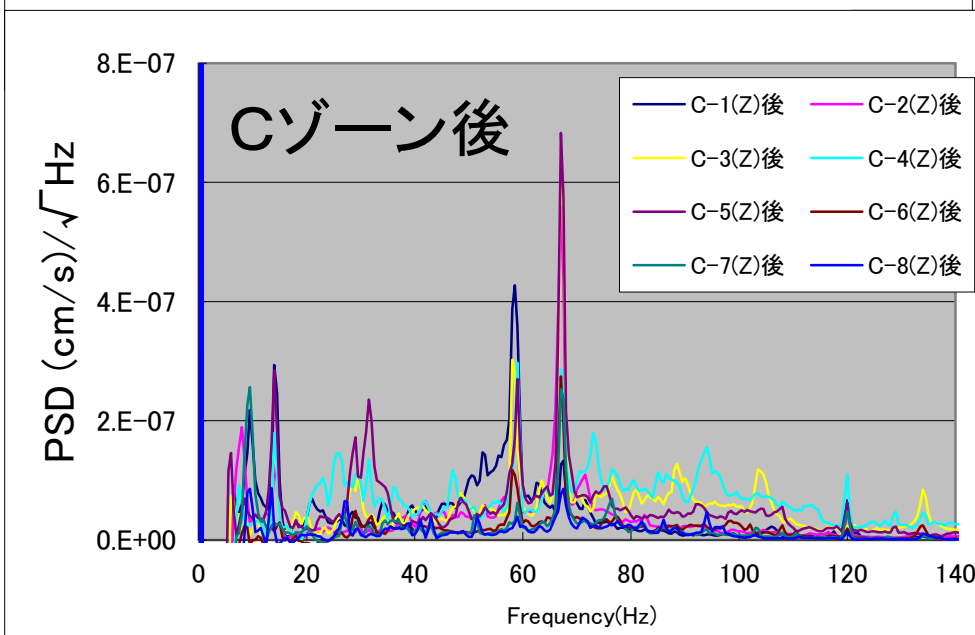
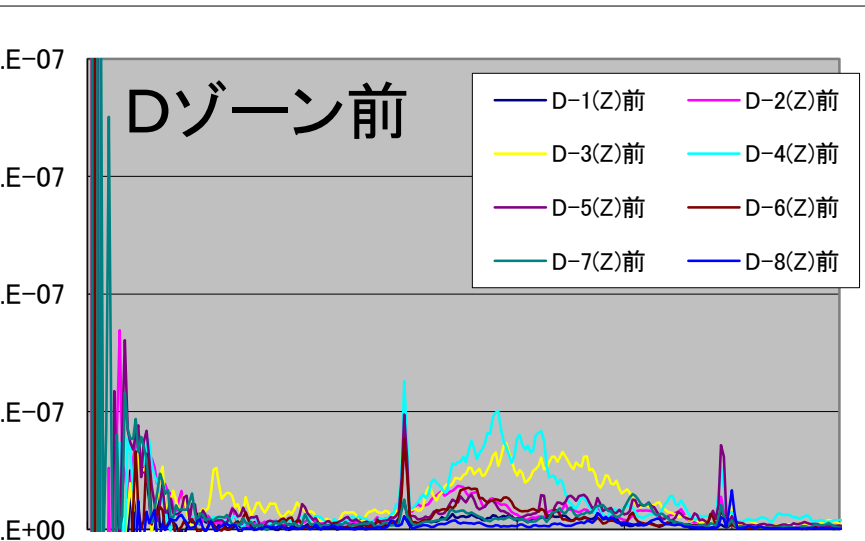
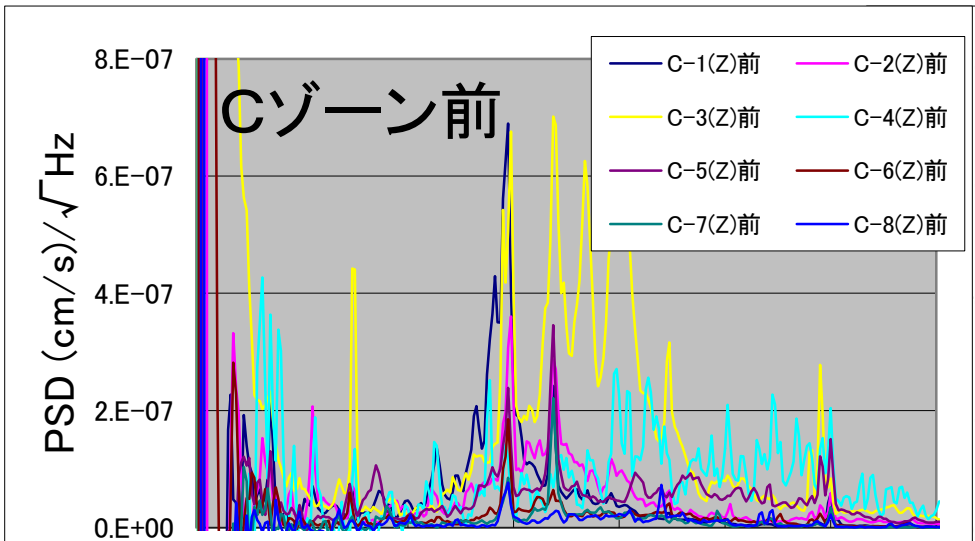
工事前後での保守通路の振動(A, Bゾーン)

上: 改造前
下: // 後



工事前後での保守通路の振動(C, Dゾーン)

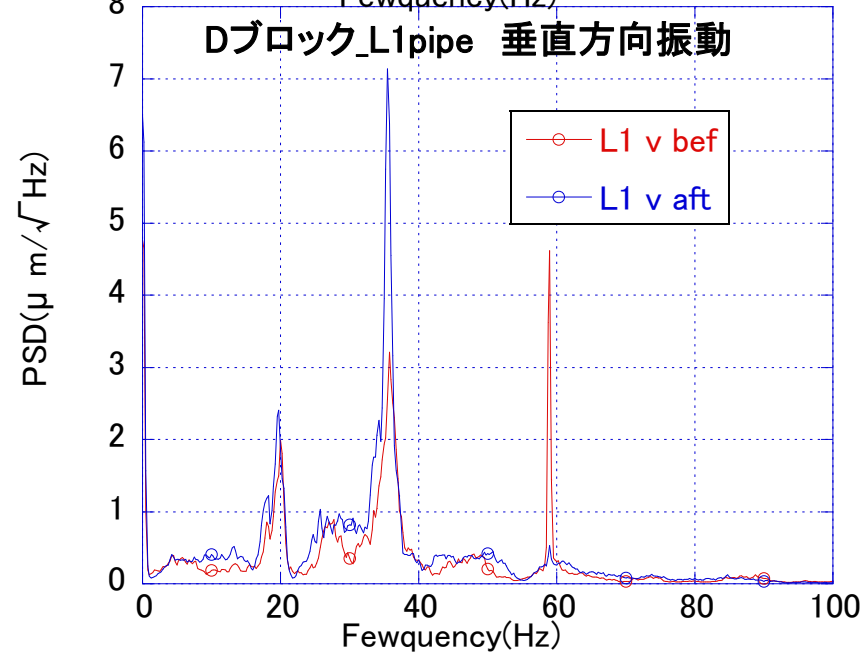
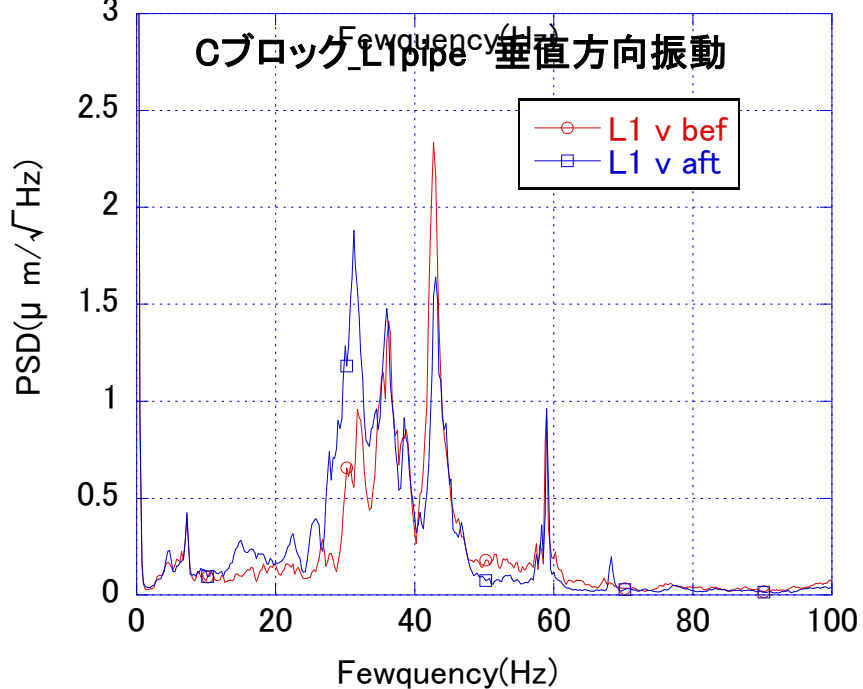
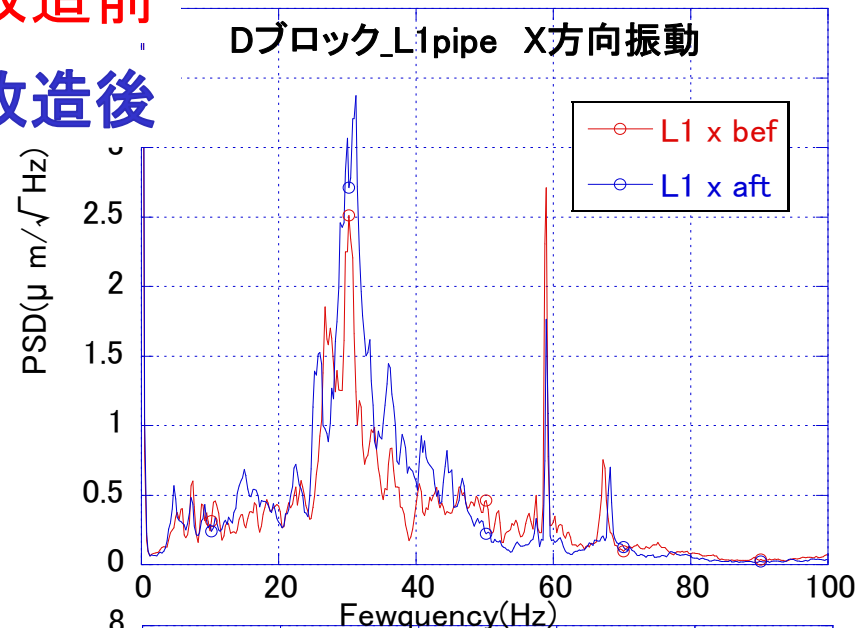
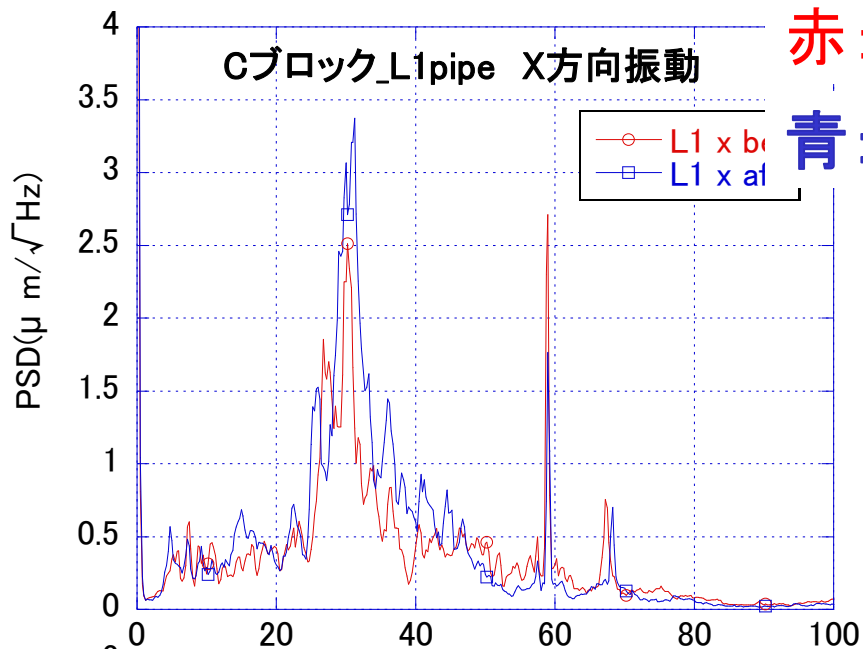
上: 改造前
下: " 後



振動測定 3 収納部天井の配管

床への伝搬が減った分
配管を伝わる部分が増
えないか心配だった。

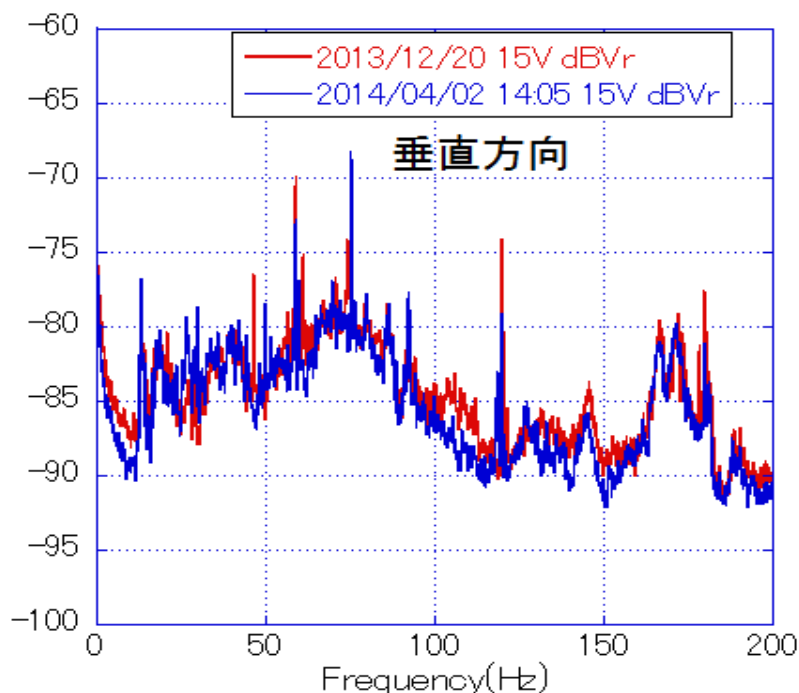
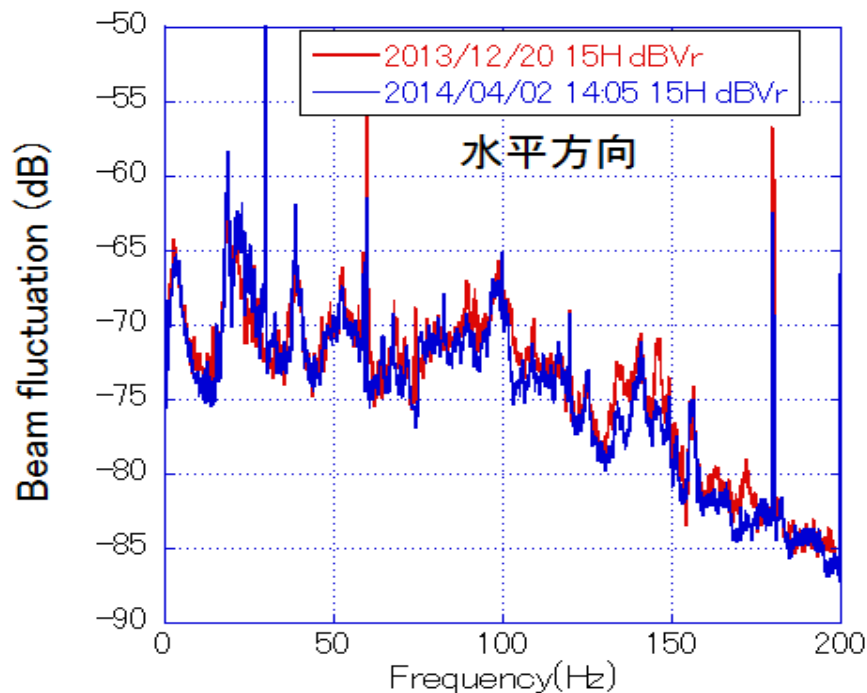




電子ビームへの影響

赤: 改造前

青: 改造後



6) まとめ

- ・ 真空チャンバーの振動は冷却水の脈動による影響は少なく、内部を流れる水による振動の励起が大きい。
- ・ 冷却機械室の振動の床への伝搬を低減した結果、
保守通路では全般的に減少
収納部ではA, Bゾーンで減少
収納部天井の配管固定部はあまり変化せず
- ・ 床から伝わってくる振動をかなり抑えることができたので次は配管からの伝搬を減少させることに目標を絞ることができる。
- ・ 現状のビーム振動には寄与していないが、低エミッタンスリングSPring8 II(冷却水による振動は現状より低減させる)に向けた準備が進んだ。