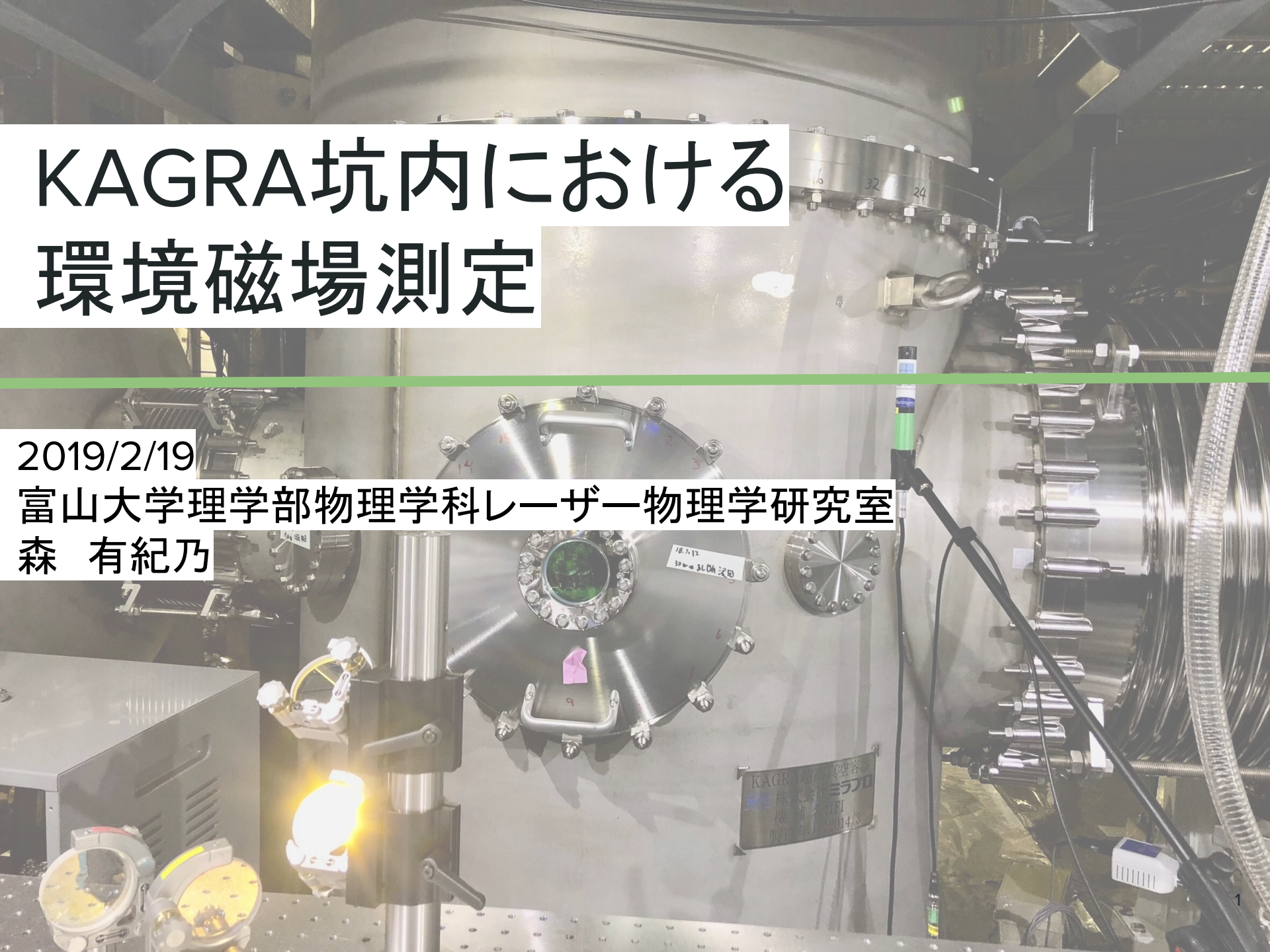
KAGRA坑内における環境磁場測定

2019/2/19

富山大学理学部物理学科レーザー物理学研究室
森　有紀乃



目次

1，研究背景

2，環境磁場測定

3，測定結果

4，まとめと今後の展望

目次

1，研究背景

2，環境磁場測定

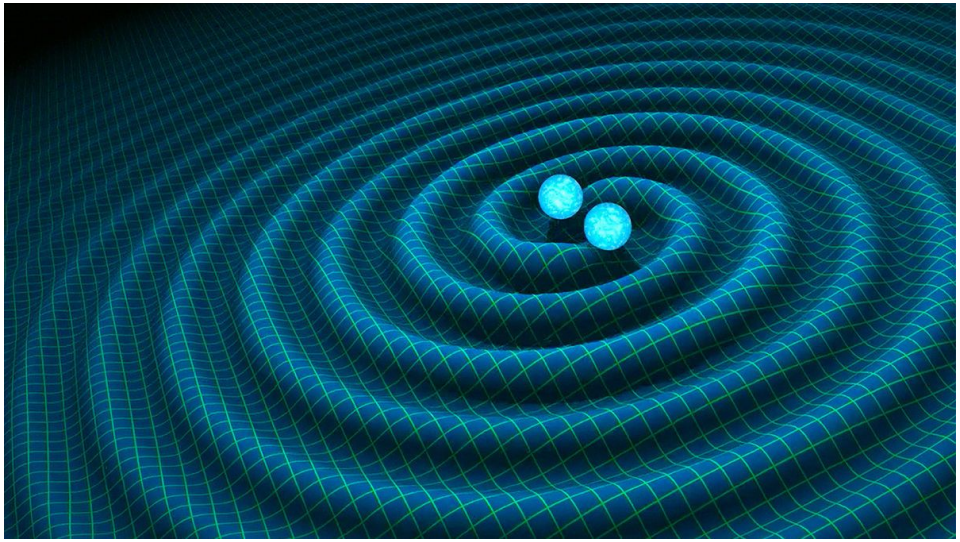
3，測定結果

4，まとめと今後の展望

1，研究背景

重力波とは

光速で伝わる時空のひずみの波



重力波観測の意義

・一般相対性理論(1916年)の検証

・非常に高い透過性 ⇒電磁波とは異なる手段での宇宙観測

干渉計型大型重力波望遠鏡

・天候や地震の影響を受けやすいため長時間の稼働は難しい

・指向性が弱い

重力波望遠鏡を増やし、多方面をカバー

重力波の国際ネットワークの構築

アメリカ（LIGO）、イタリア（Virgo）など

日本には･･･大型低温重力波望遠鏡KAGRA

重力波は非常に微弱であり、
感度上昇のためには極限まで
雑音を減らしたい

雑音が最大の敵

雑音

①干渉計の**内部**で発生する雑音

(ex) 熱雑音
量子雑音など

②干渉計の**外部**で発生する雑音

(ex)地面振動
音
磁場
気圧
温湿度　など

雑音

①干渉計の**内部**で発生する雑音

(ex) 熱雑音
量子雑音など

②干渉計の**外部**で発生する雑音

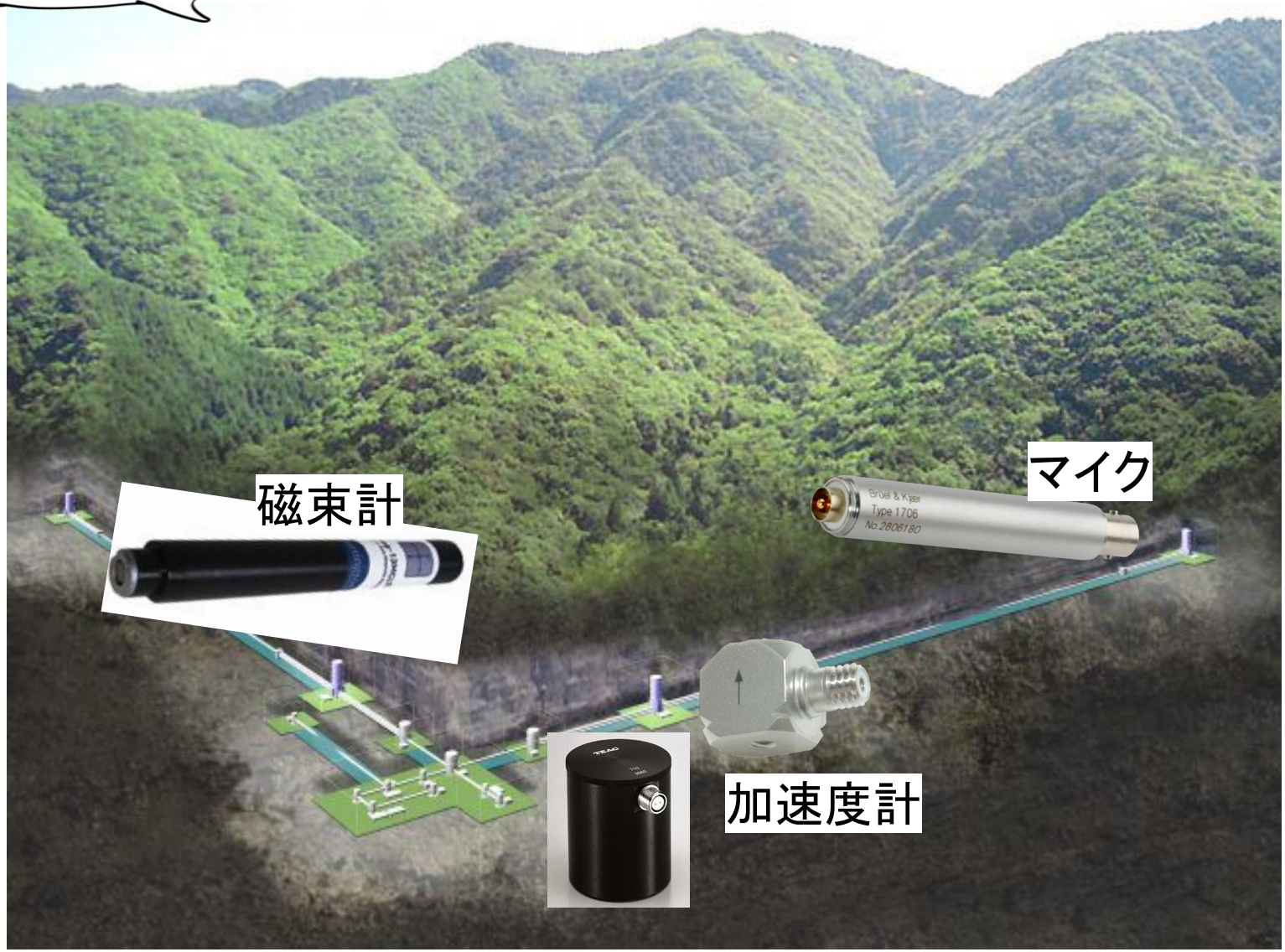
(ex)地面振動
音
磁場
気圧
温湿度　など

環境雑音

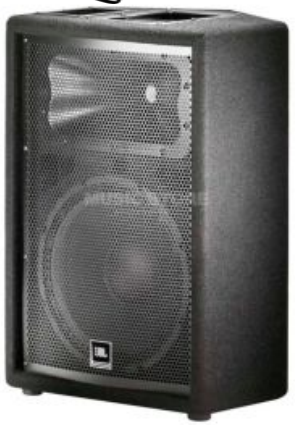
研究グループ: **P**hysical **E**nvironment **M**onitors

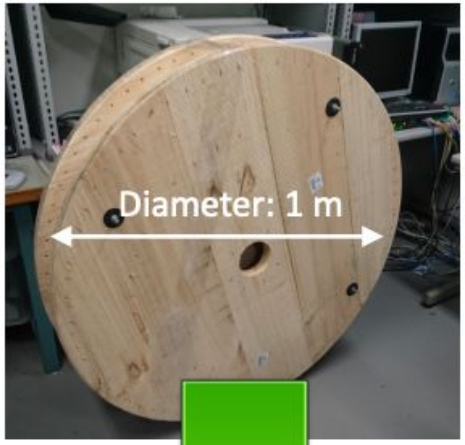
Physical Environment Monitorsグループの実験内容

環境雑音の把握



環境雑音の
インジェクション





インジェクション

環境雑音の削減

大型重力波望遠鏡の中でも地下にあり、

低温であるものはKAGRAだけ

大型重力波望遠鏡の中でも**地下**にあり、

低温であるものは**KAGRA**だけ

KAGRAでの環境雑音を精密に測定することは

非常に大切である!

目次

1，研究背景

2，環境磁場測定

3，測定結果

4，まとめと今後の展望

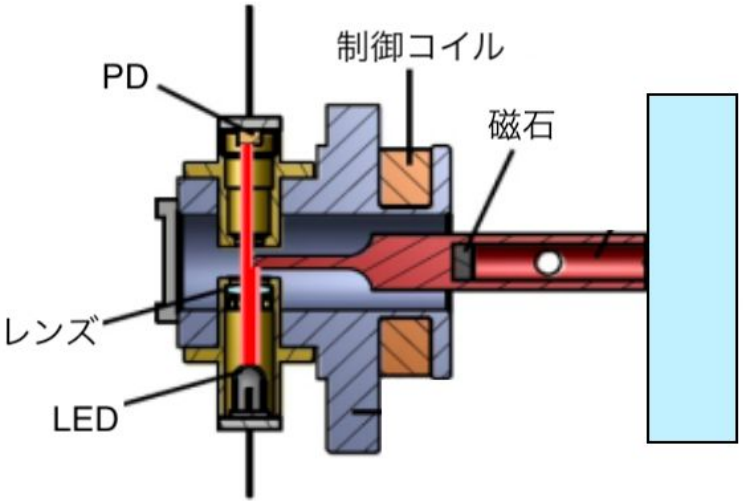
2, 環境磁場測定

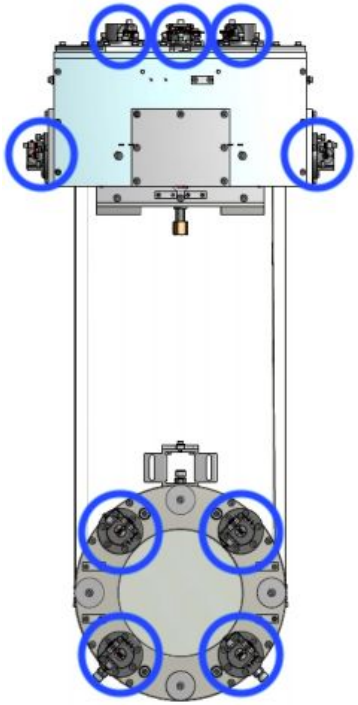
KAGRA坑内にある機械や回路から発生する磁場が干渉計に与える影響を調べる。

磁場が影響を与える例

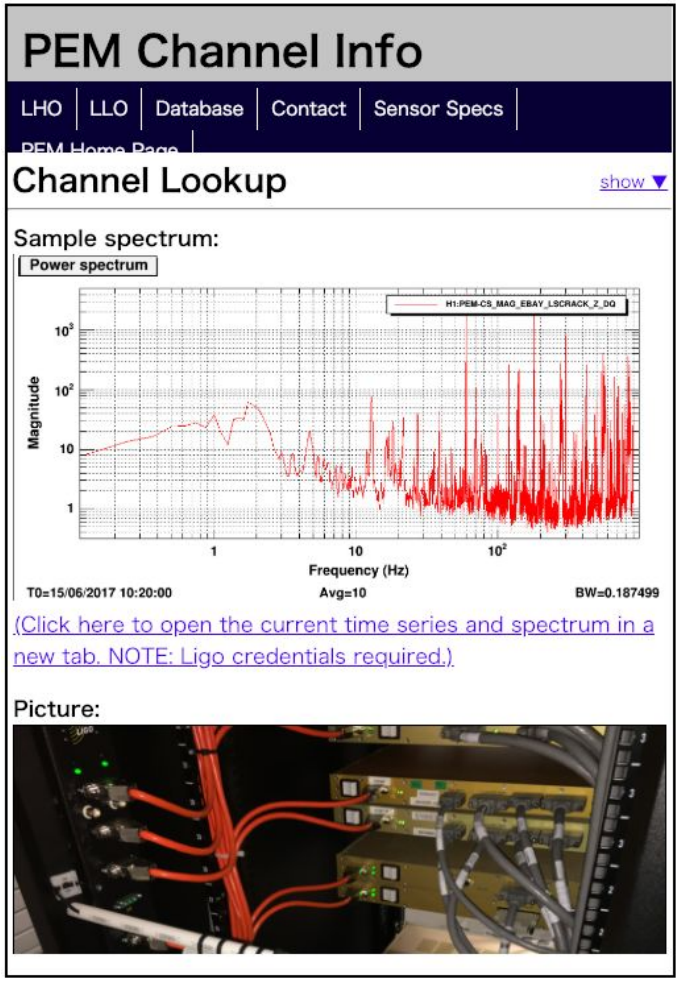
Optical **S**ensors and **E**lectro-**M**agnetic Actuators

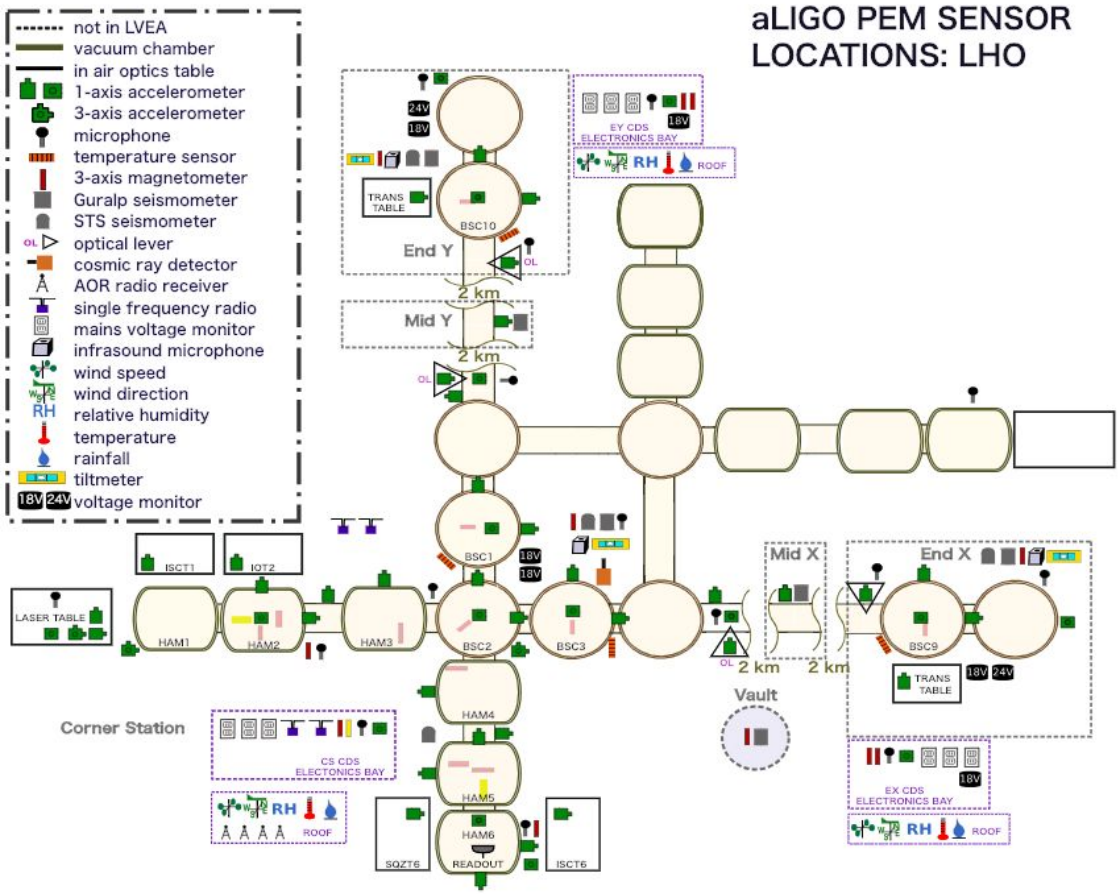
鏡の振動をモニターし、フィードバック制御している
LEDとPDのシャドウセンサー＆磁石とコイルのアクチュエーター





最終目標 ⇒ 環境雑音MAPの作成





LIGOが作成した環境雑音MAPサイト

実験手順

手順1，磁束計をWhitening Filter回路に接続する

手順2，マイクスタンドの先端に固定した磁束計を測定対象の前に
設置する

手順3，解析ソフトdiaggui を用いてスペクトルを得る

実験手順

手順1，磁束計をWhitening Filter回路に接続する

手順2，マイクスタンドの先端に固定した磁束計を測定対象の前に
設置する

手順3，解析ソフトdiaggui を用いてスペクトルを得る

使用した磁束計

Bartington社のMAG-13MCL

特徴

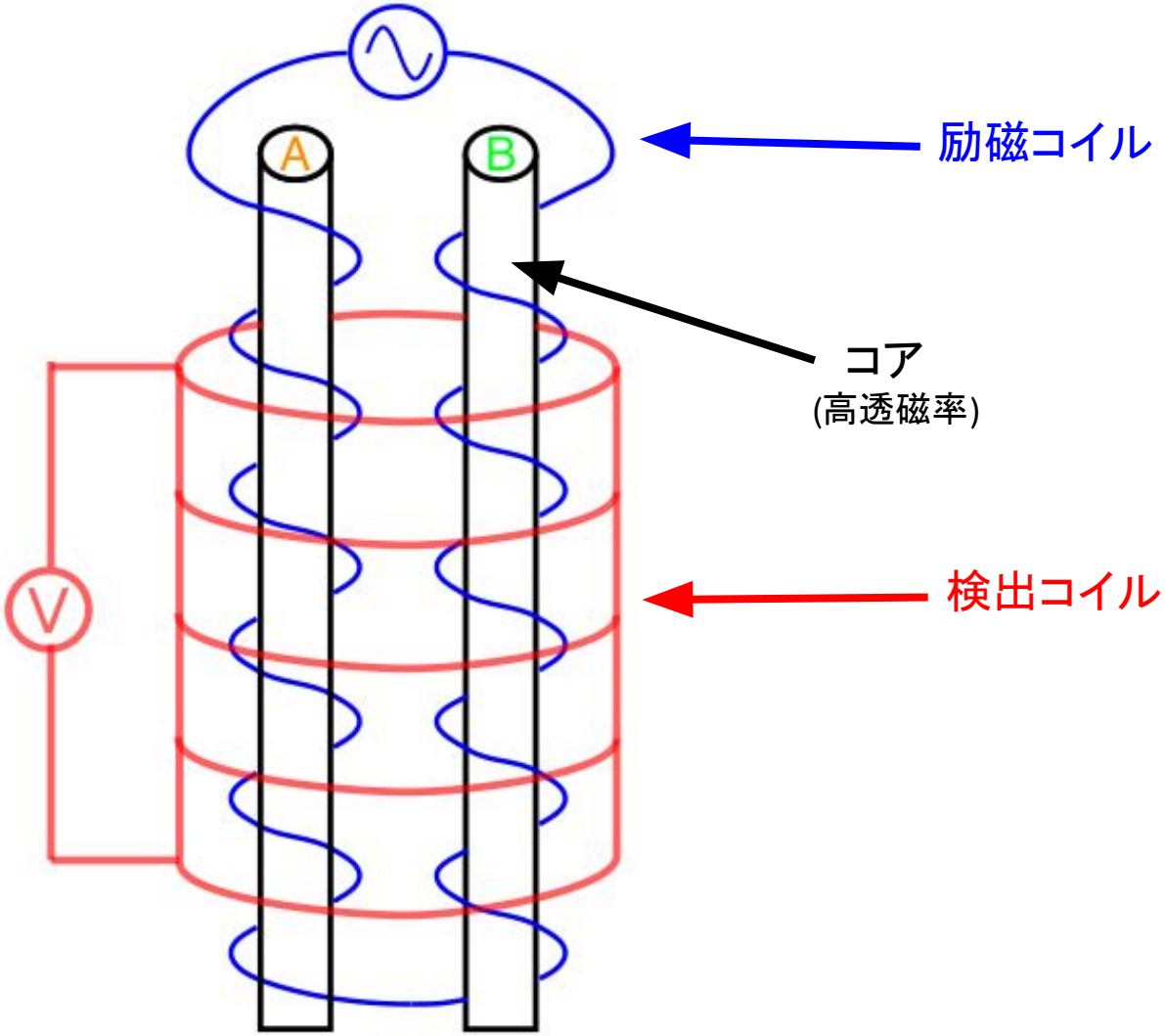
・3軸(x,y,z)同時に測定可能

・静磁場、交流磁場の測定可能

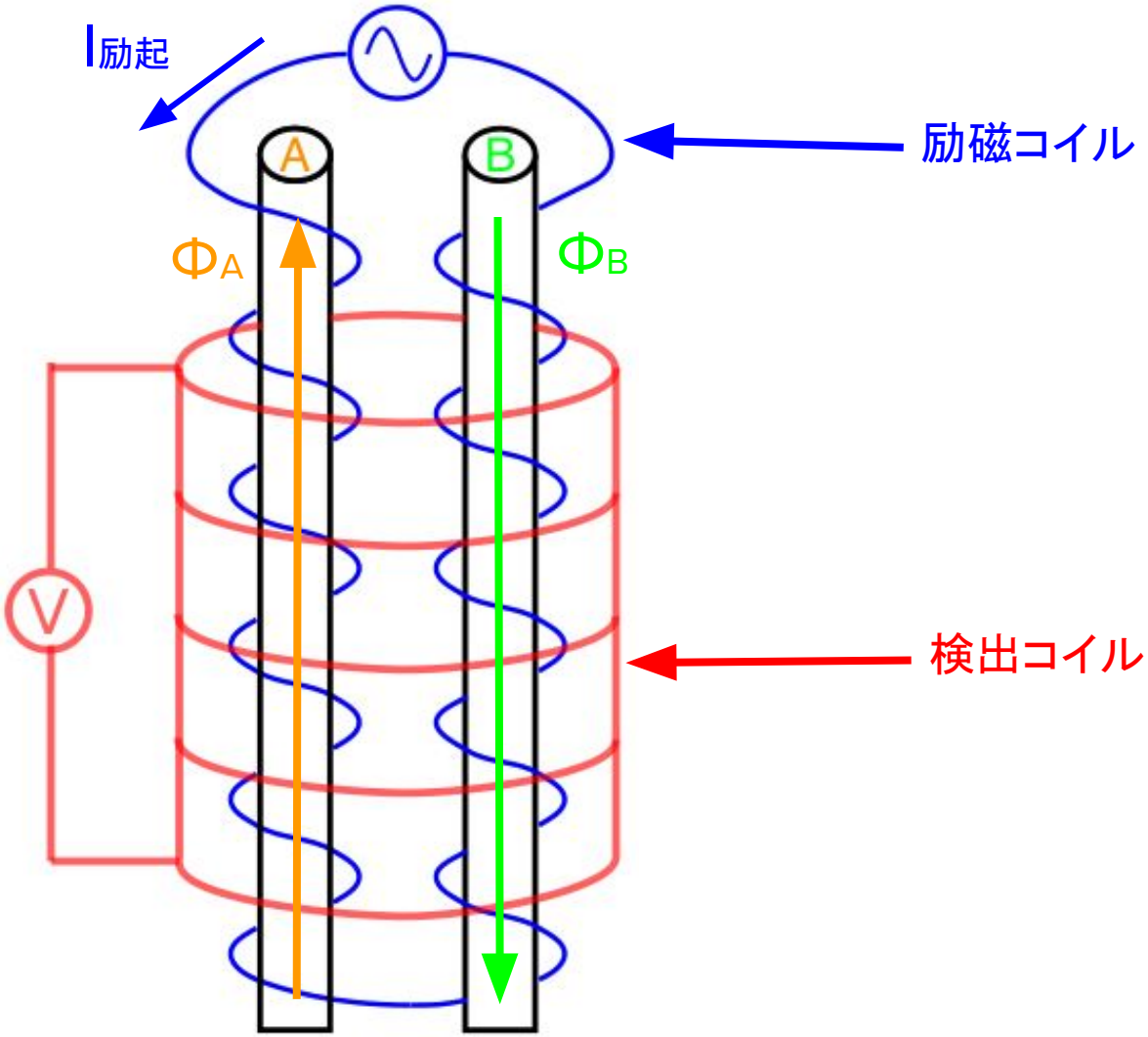
・DC電源を使用

・周波数帯域：DC-3kHz

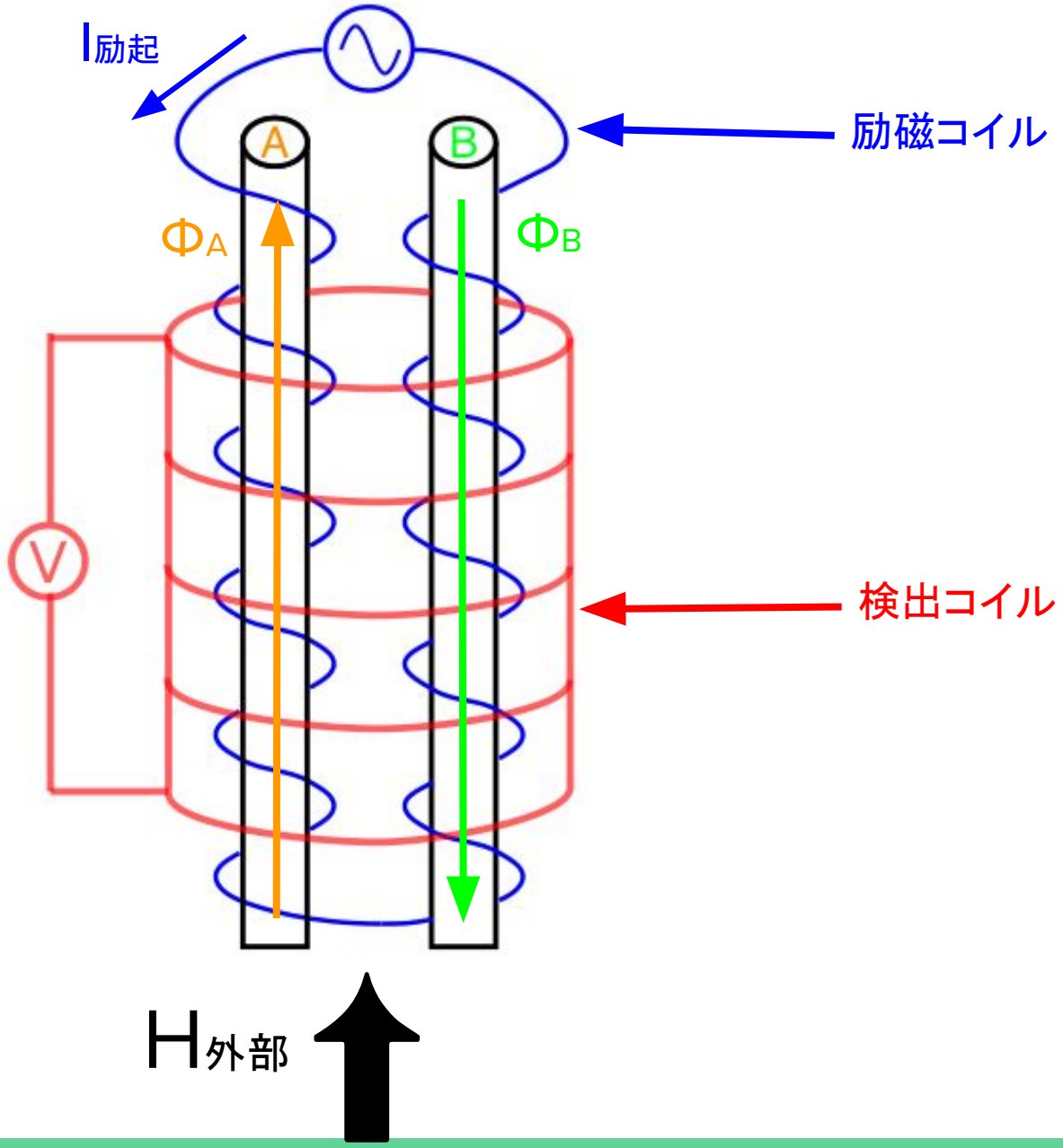
磁束計：フラックスゲートセンサ式



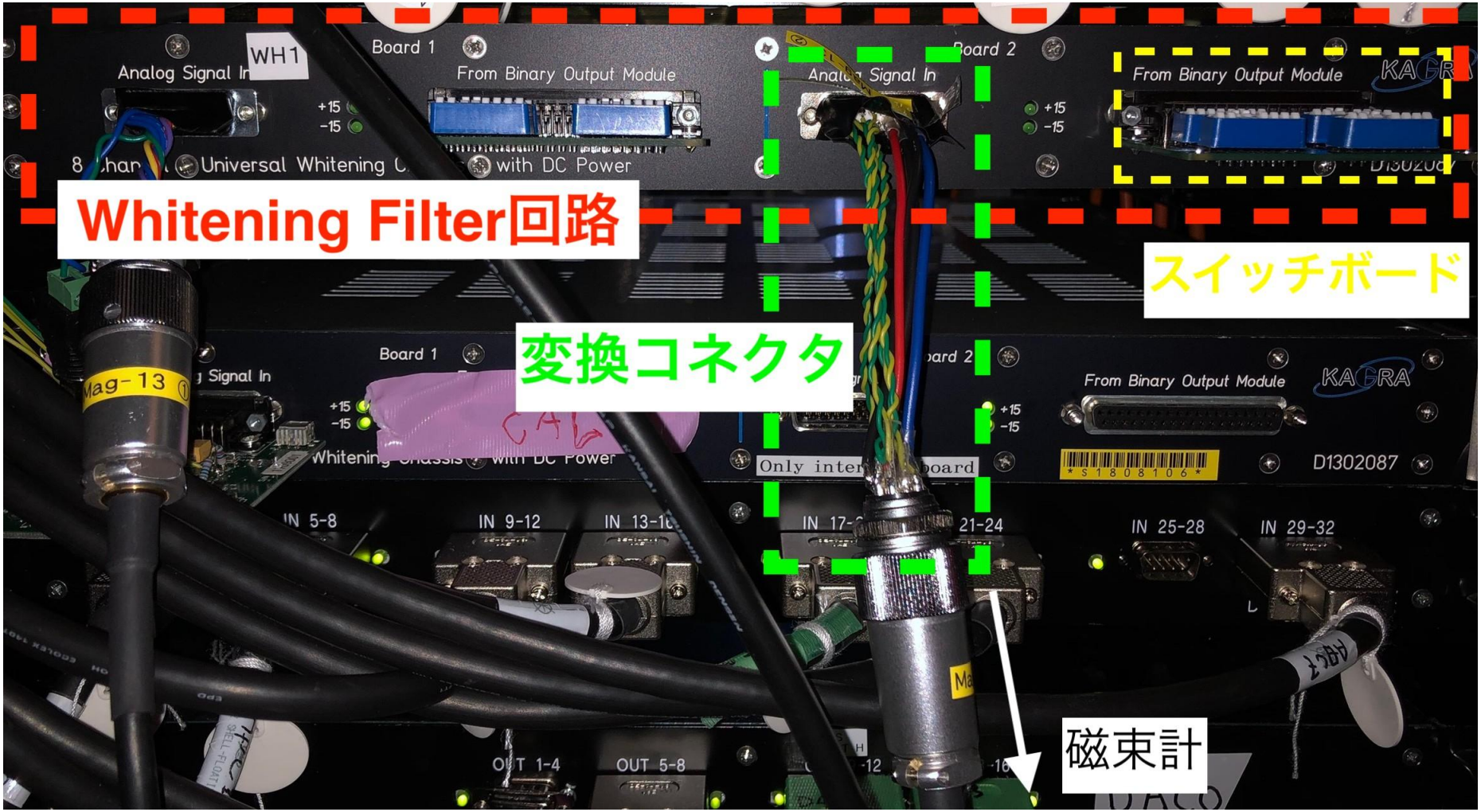
磁束計：フラックスゲートセンサ式



磁束計：フラックスゲートセンサ式



Whitening Filter回路



Whitening Filter回路

・磁束計の信号がADCノイズに埋もれてしまうため使用

・地磁気などの超低周波成分は増幅せずに、高周波成分のみを増幅している

・Whitening Filterはデジタル変換後のデータ内で逆フィルターをかけることでキャンセルする

実験手順

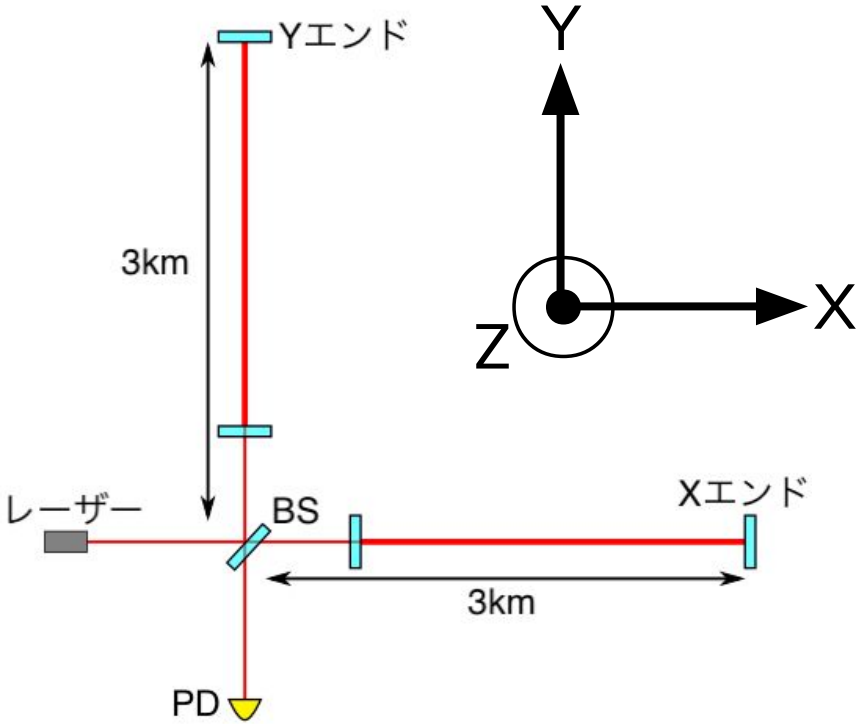
手順1，磁束計をWhitening Filter回路に接続する

手順2，マイクスタンドの先端に固定した磁束計を測定対象の前に設置する

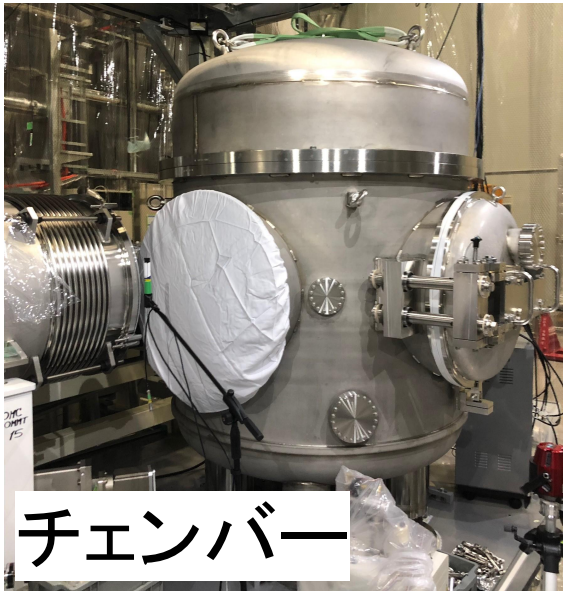
手順3，解析ソフトdiaggui を用いてスペクトルを得る

測定方法

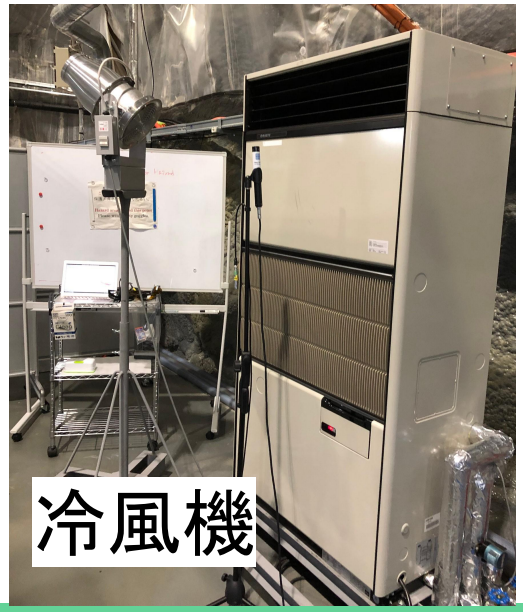
Z
X
Y
Mag-13MCL
Three-Axis Magnetic Fie

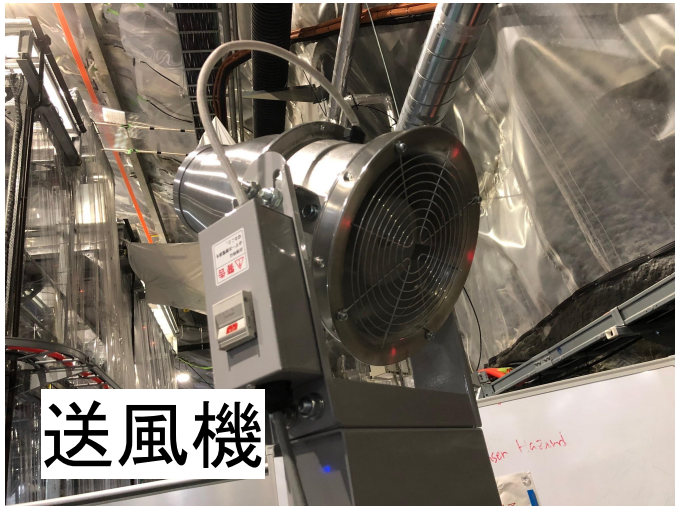

Yエンド
3km
レーザー
BS
Xエンド
3km
PD
Y
X
Z

主な測定対象

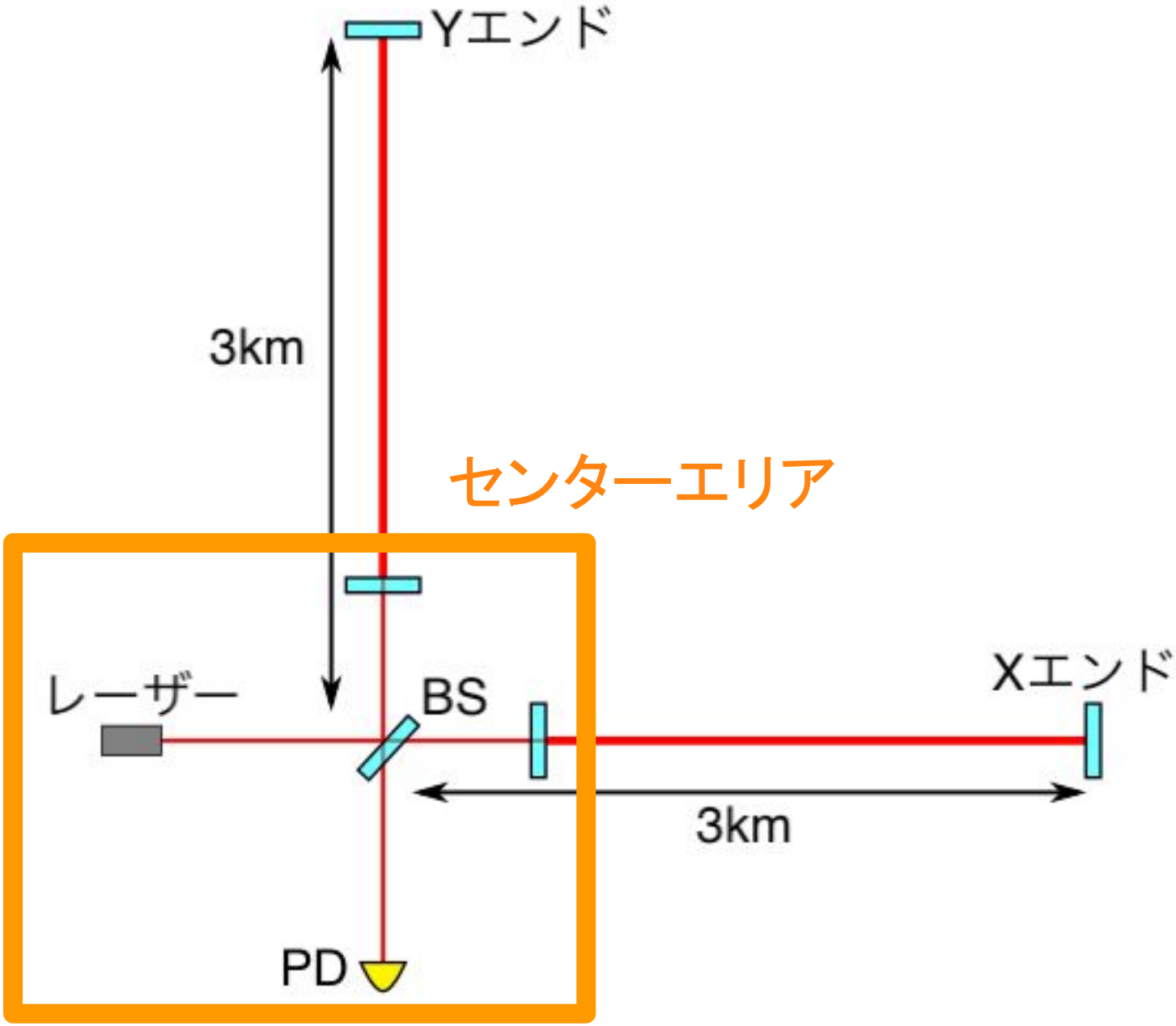


KOACH FILTER

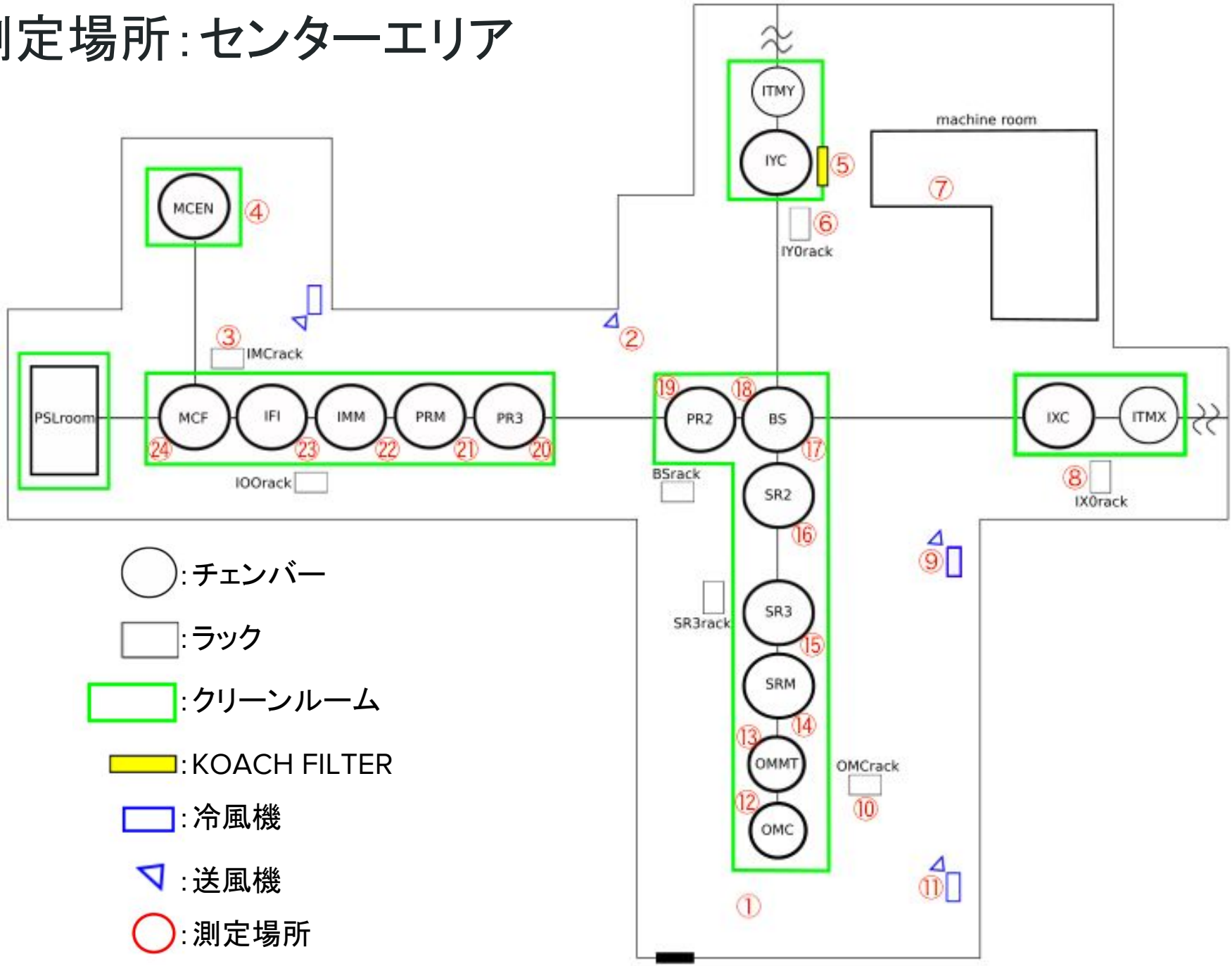




測定場所



測定場所：センターエリア



目次

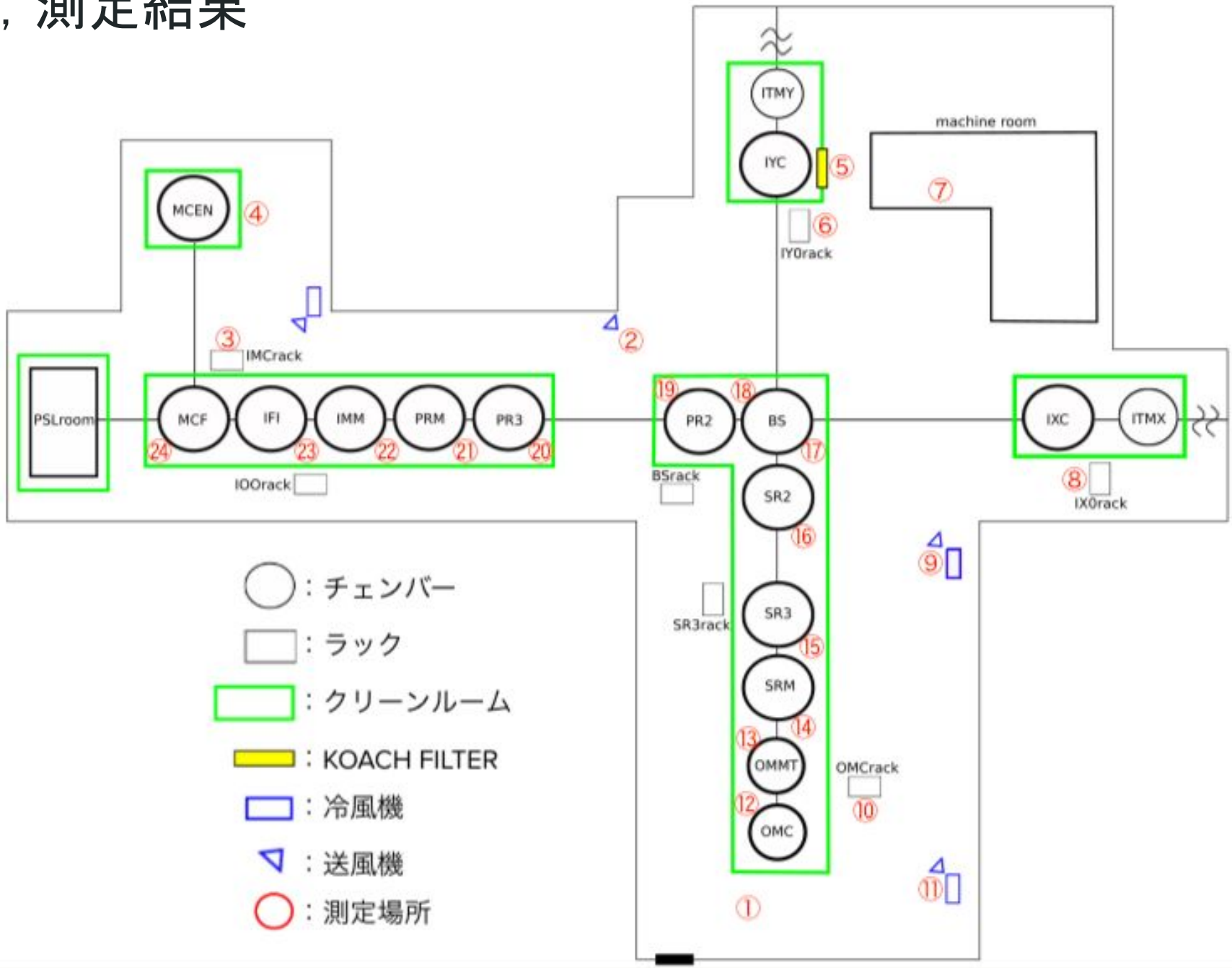
1，研究背景

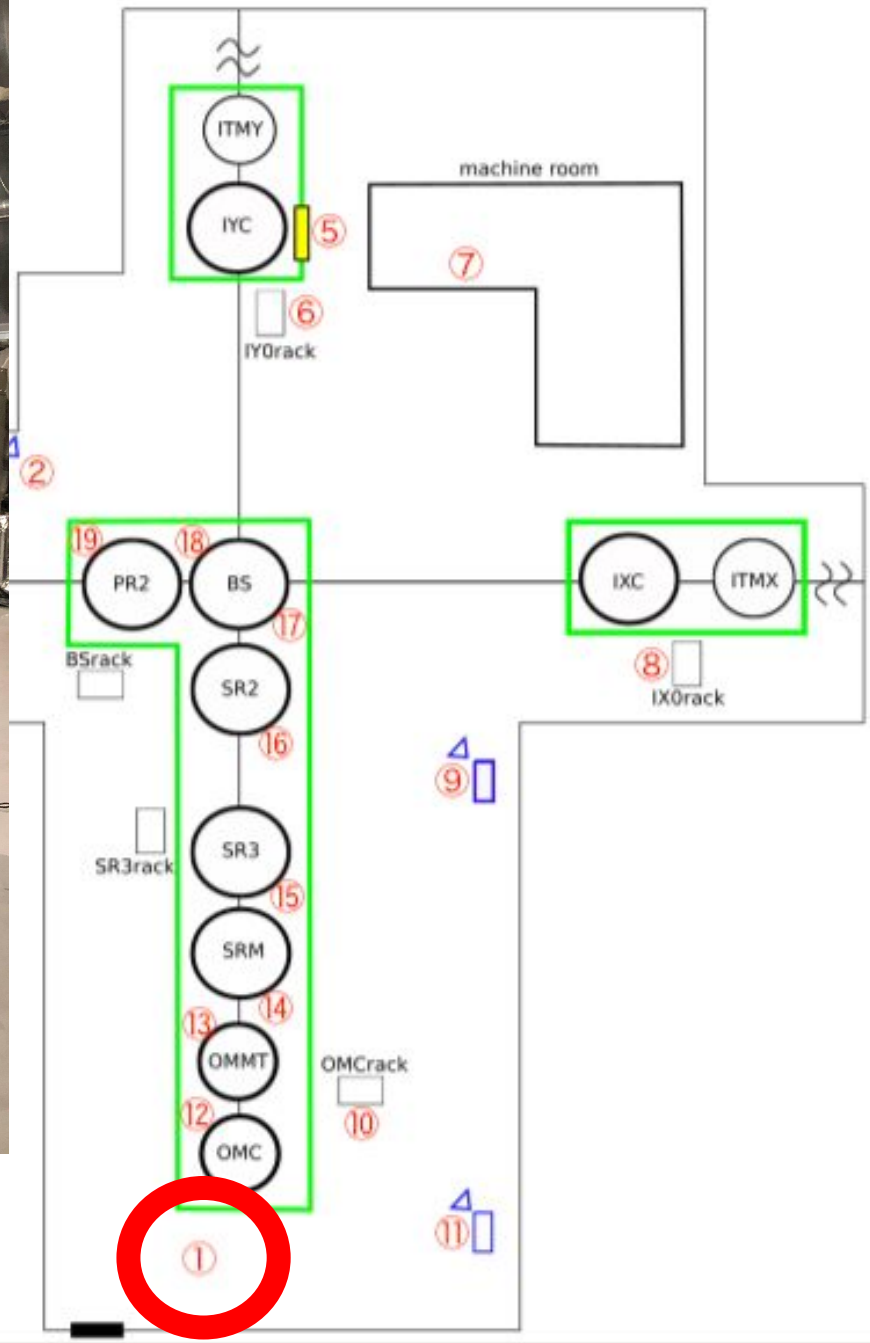
2，環境磁場測定

3，測定結果

4，まとめと今後の展望

3，測定結果

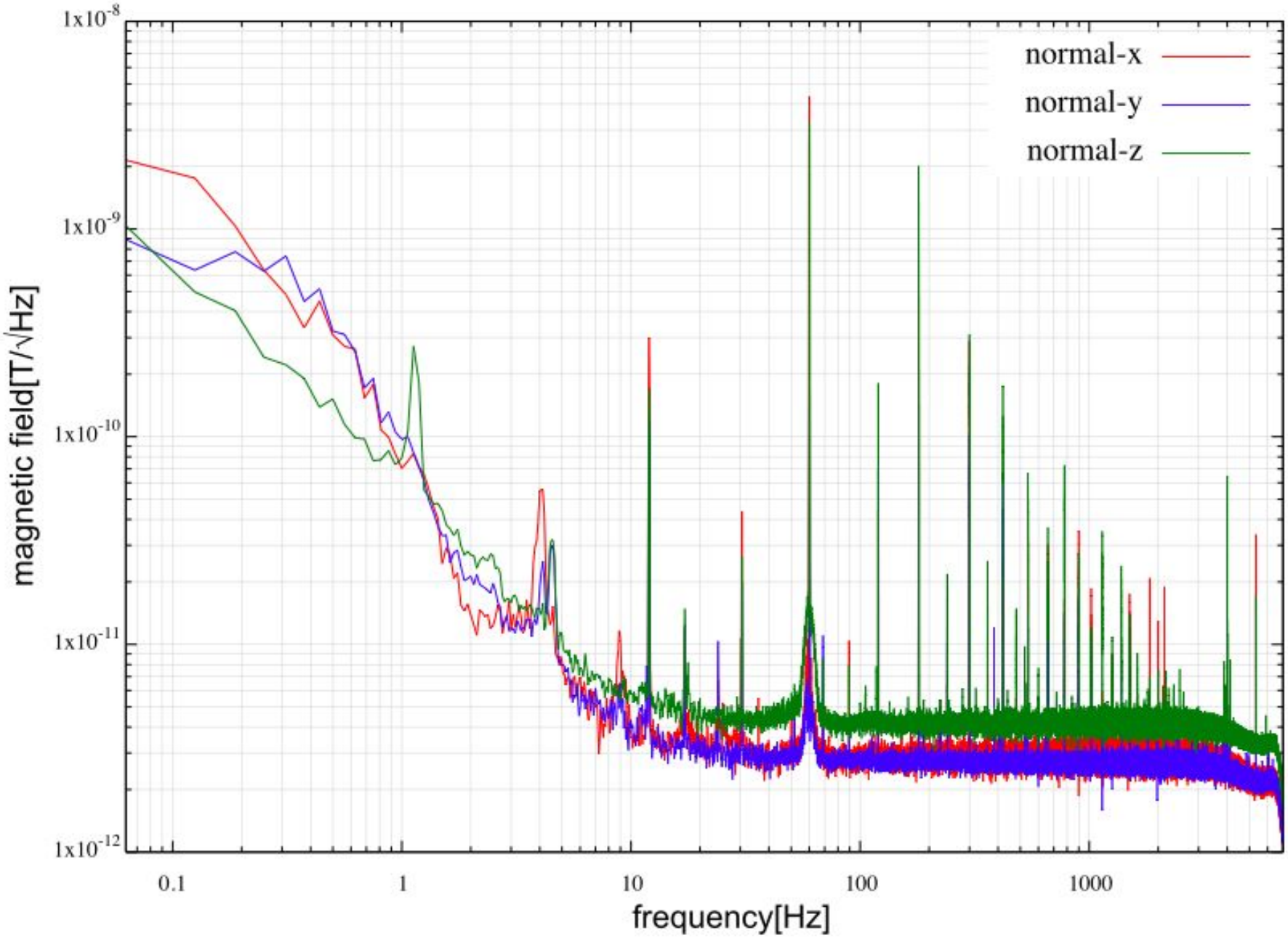

ITMY
IYC
machine room
MCEN
IY0rack
IMCrack
PSLroom
MCF
IFI
IMM
PRM
PR3
PR2
BS
IXC
ITMX
IO0rack
BSrack
SR2
IX0rack
SR3rack
SR3
SRM
OMMT
OMCrack
OMC
：チェンバー
：ラック
：クリーンルーム
：KOACH FILTER
：冷風機
：送風機
：測定場所


ITMY
IYC
machine room
IY0rack
PR2
BS
IXC
ITMX
BSrack
SR2
IX0rack
SR3rack
SR3
SRM
OMMT
OMCrack
OMC

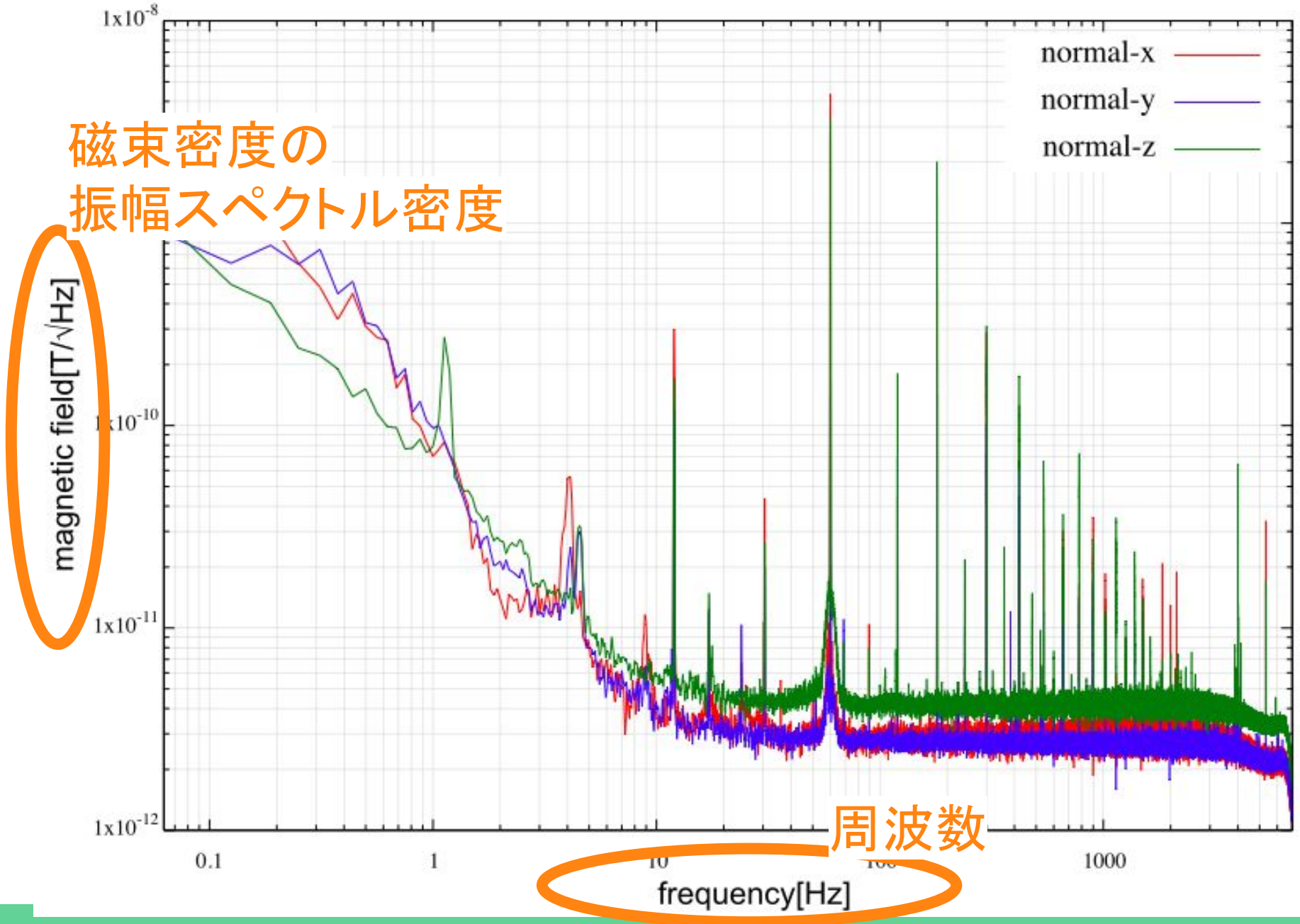
：送風機

：測定場所

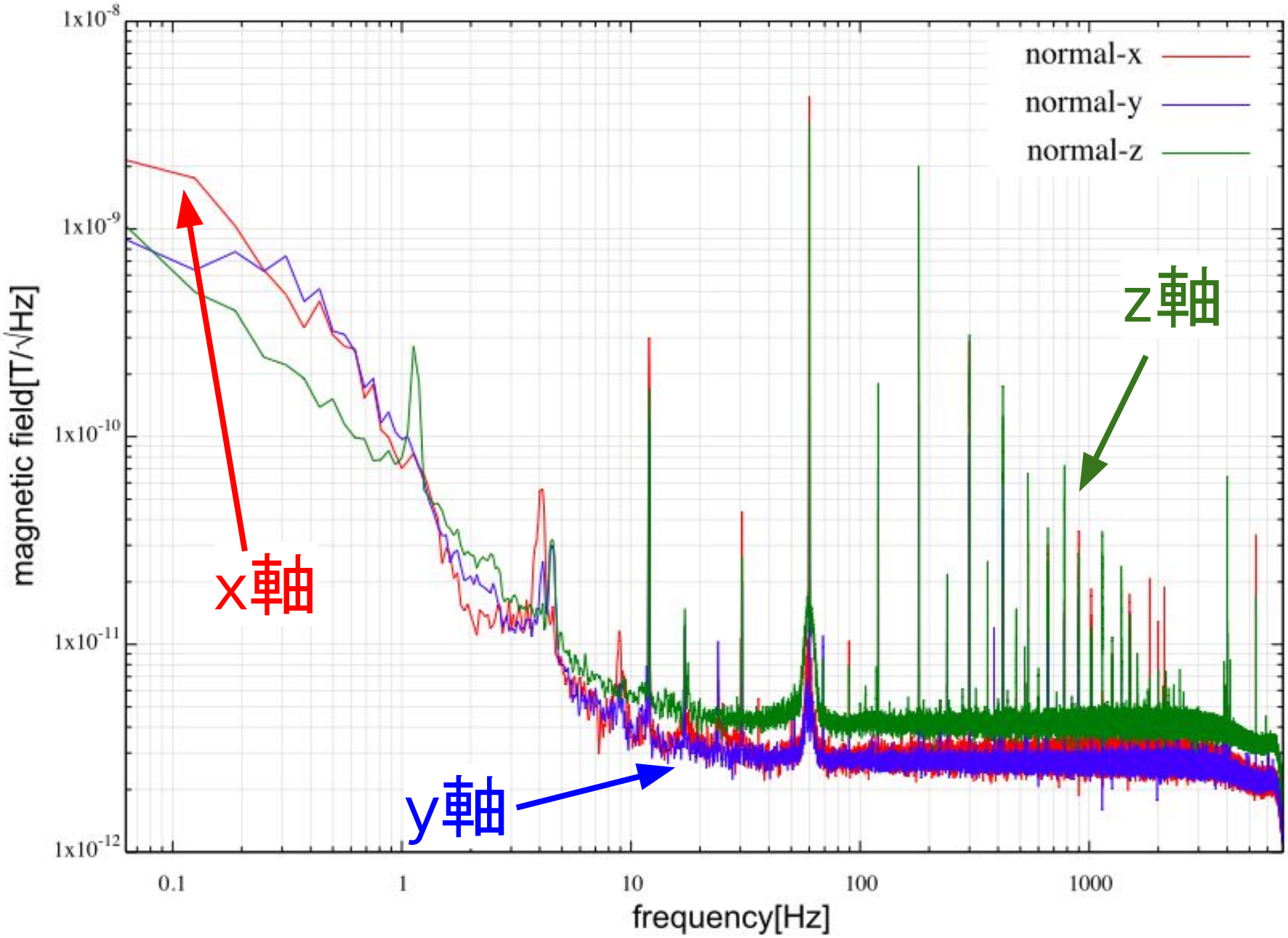
入り口付近


normal-x
normal-y
normal-z
1x10^-8
1x10^-9
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
magnetic field[T/√Hz]
0.1
1
10
100
1000
frequency[Hz]

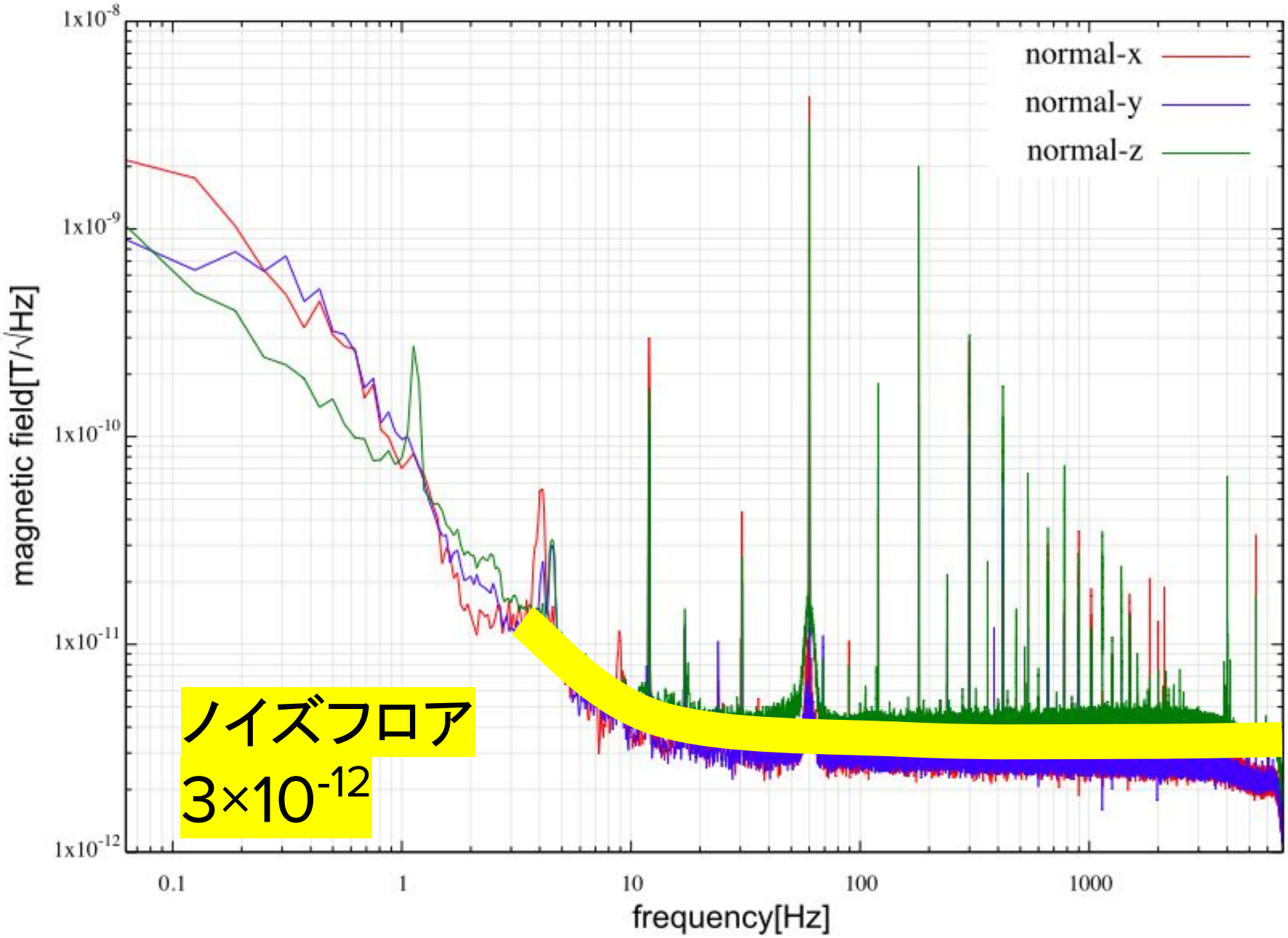
入り口付近


磁束密度の
振幅スペクトル密度
magnetic field[T/√Hz]
1x10^-8
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
normal-x
normal-y
normal-z
0.1
1
10
1000
周波数
frequency[Hz]

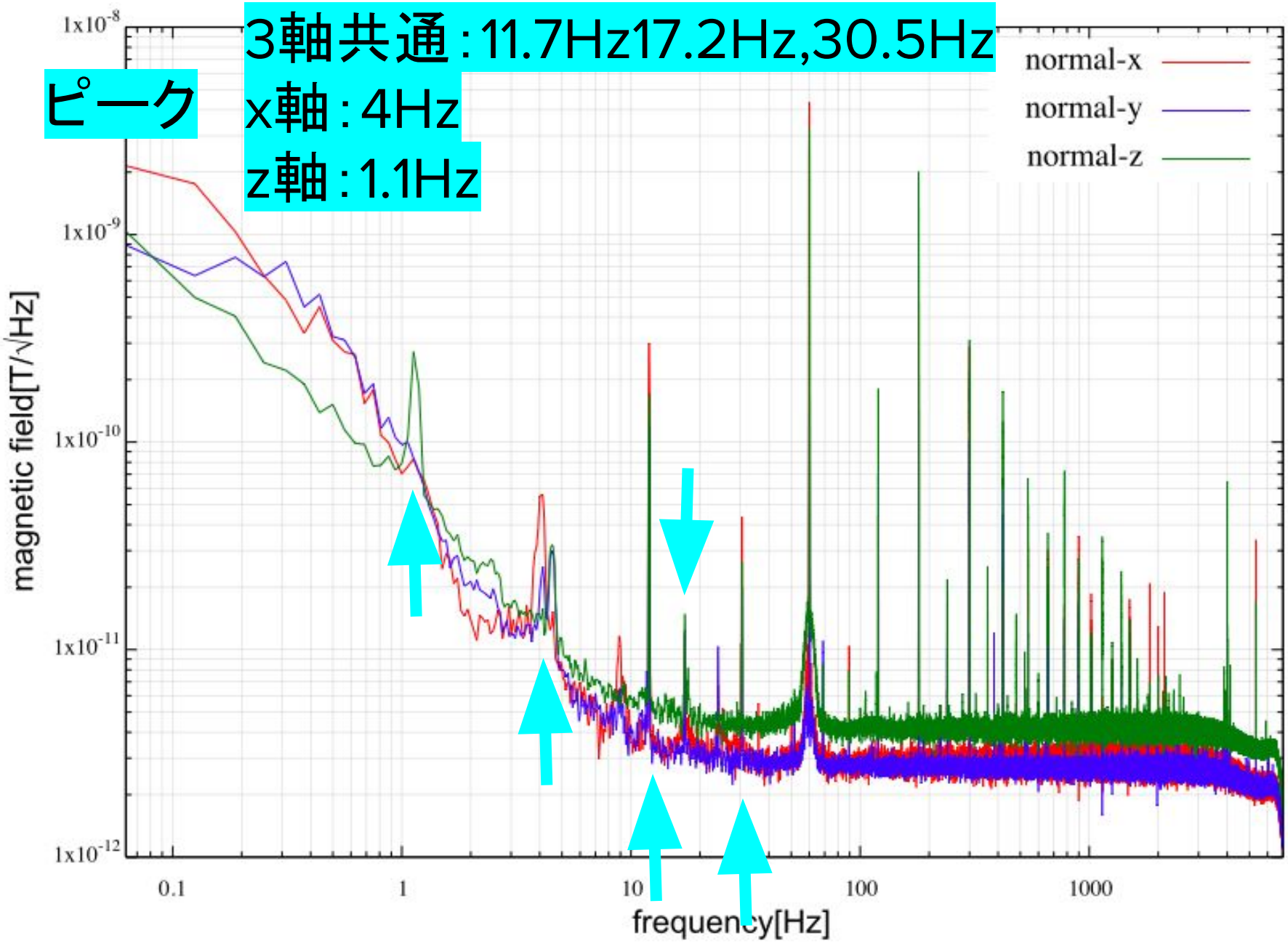
入り口付近


normal-x
normal-y
normal-z
magnetic field[T/√Hz]
1x10^-8
1x10^-9
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
0.1
1
10
100
1000
frequency[Hz]
x軸
y軸
z軸

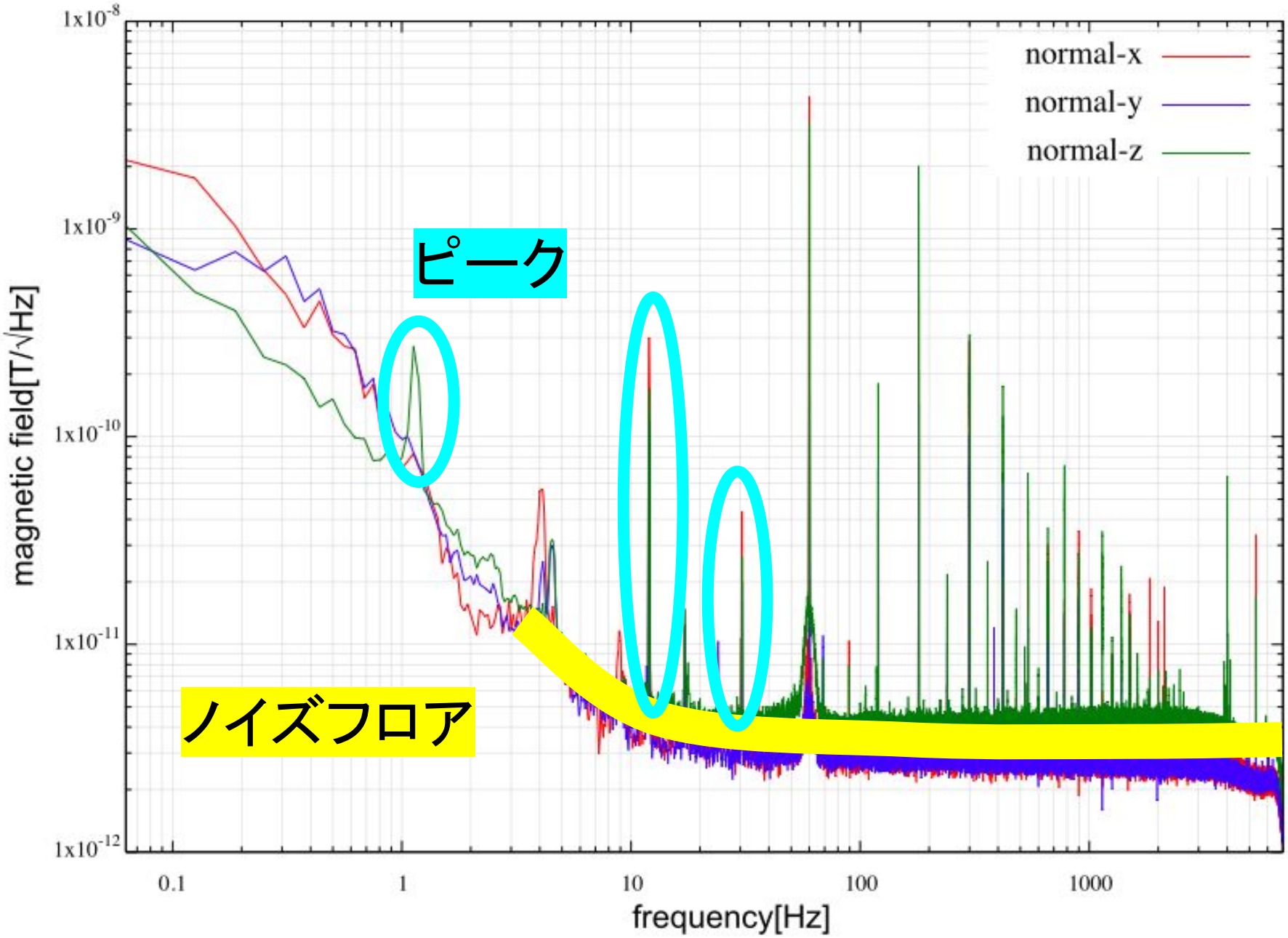
入り口付近

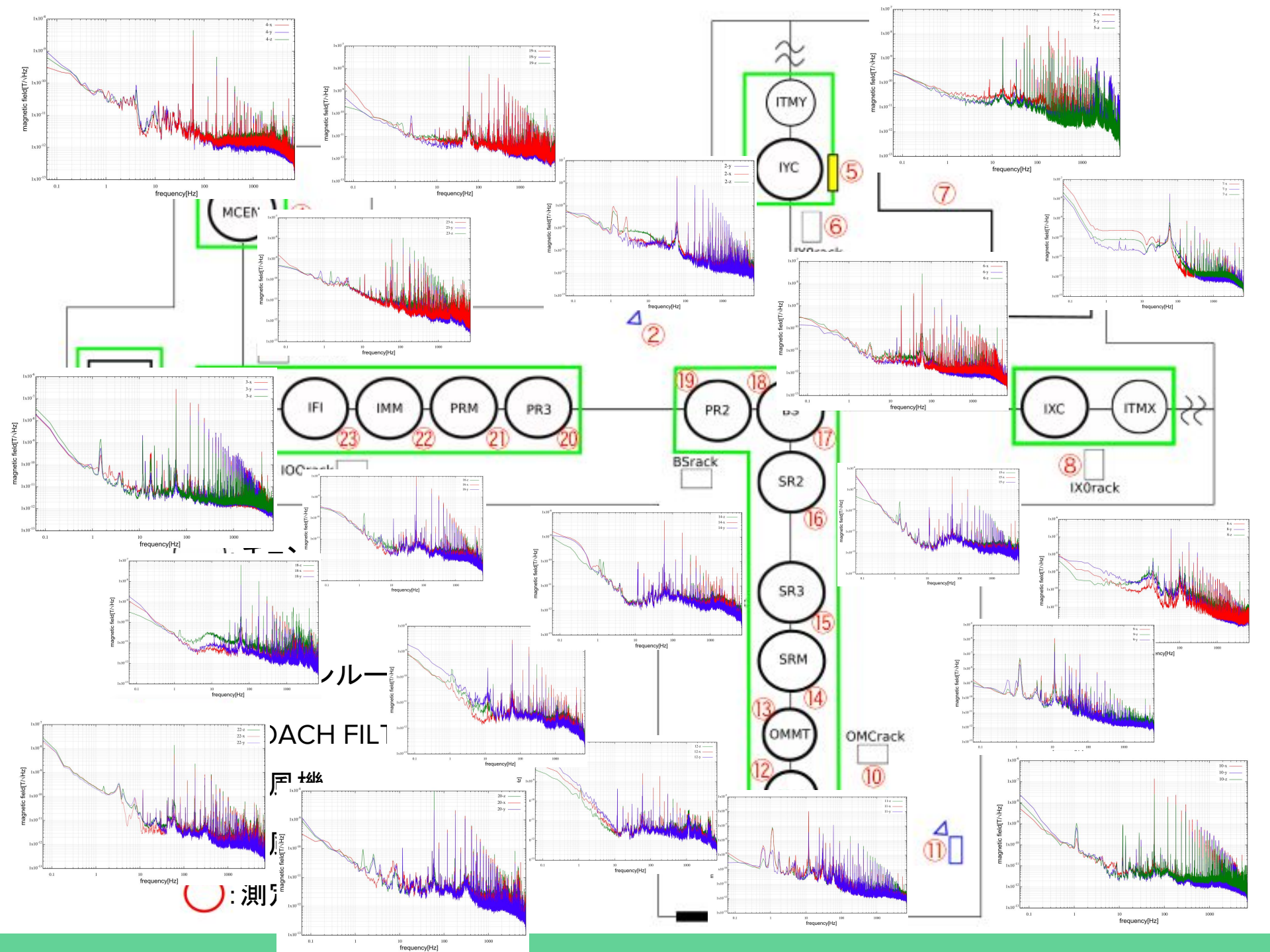

normal-x
normal-y
normal-z
magnetic field[T/√Hz]
frequency[Hz]
1x10^-8
1x10^-9
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
0.1
1
10
100
1000
ノイズフロア
3×10^-12

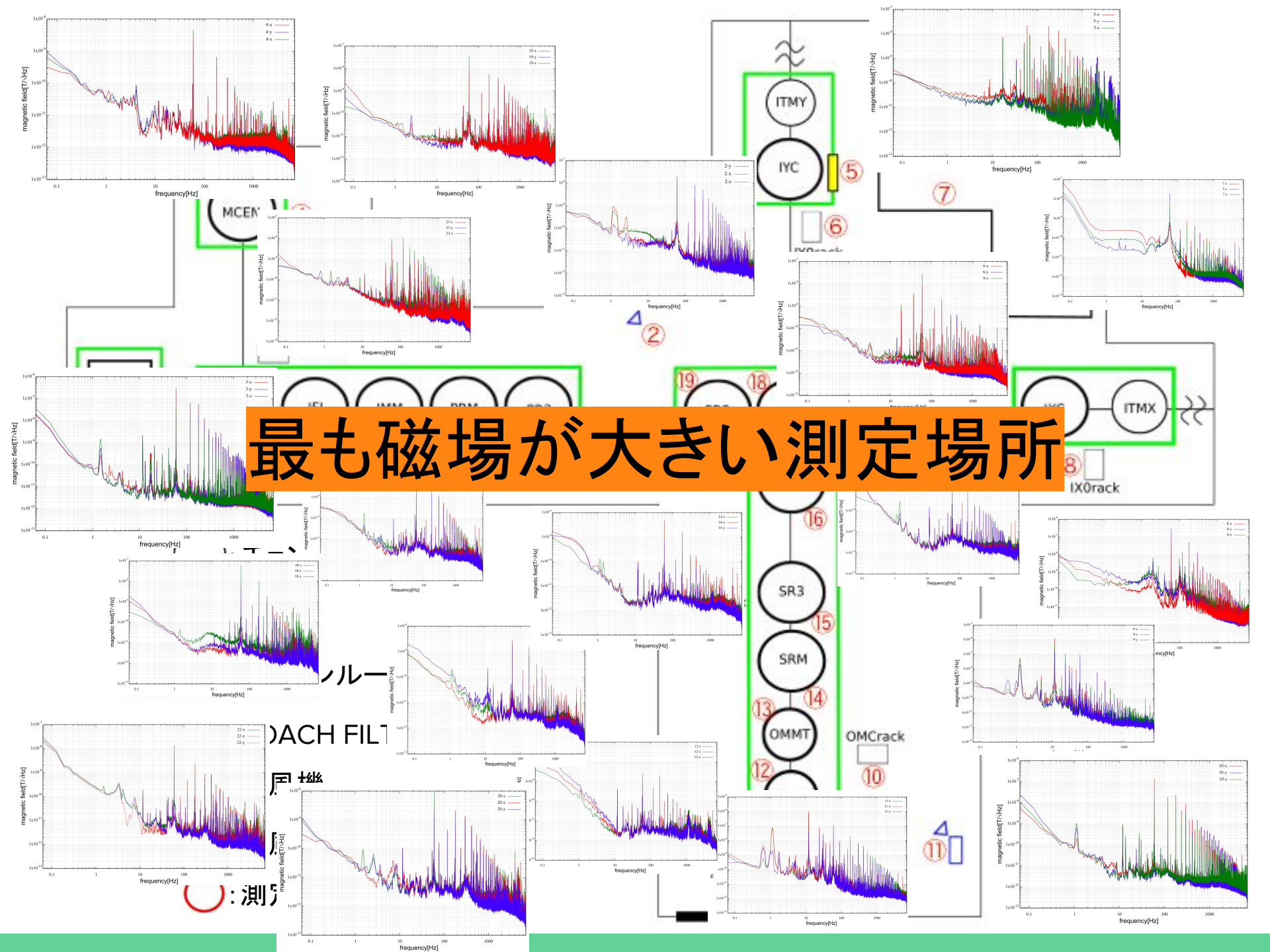
入り口付近


3軸共通：11.7Hz17.2Hz,30.5Hz
ピーク
x軸：4Hz
z軸：1.1Hz
normal-x
normal-y
normal-z
magnetic field[T/√Hz]
frequency[Hz]
1x10^-8
1x10^-9
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
0.1
1
10
100
1000

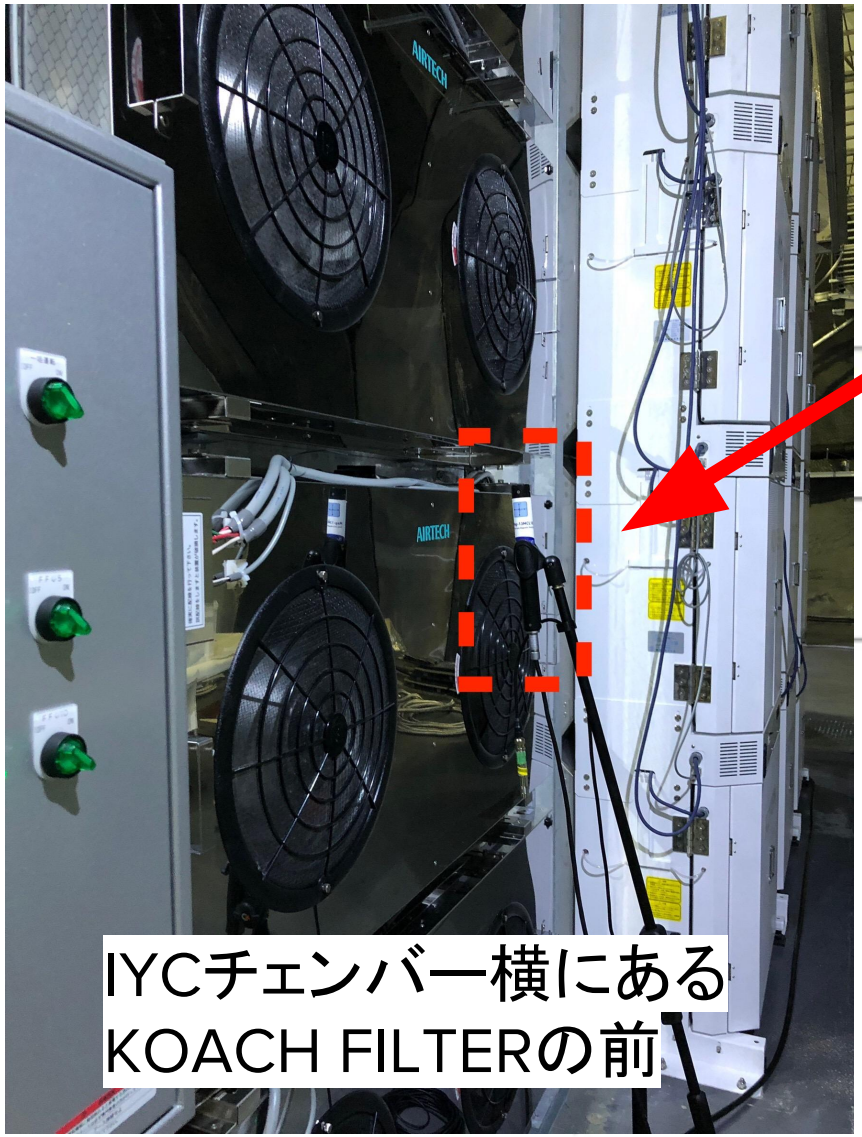
入り口付近･･･基準 ⇒ 各測定場所と比較

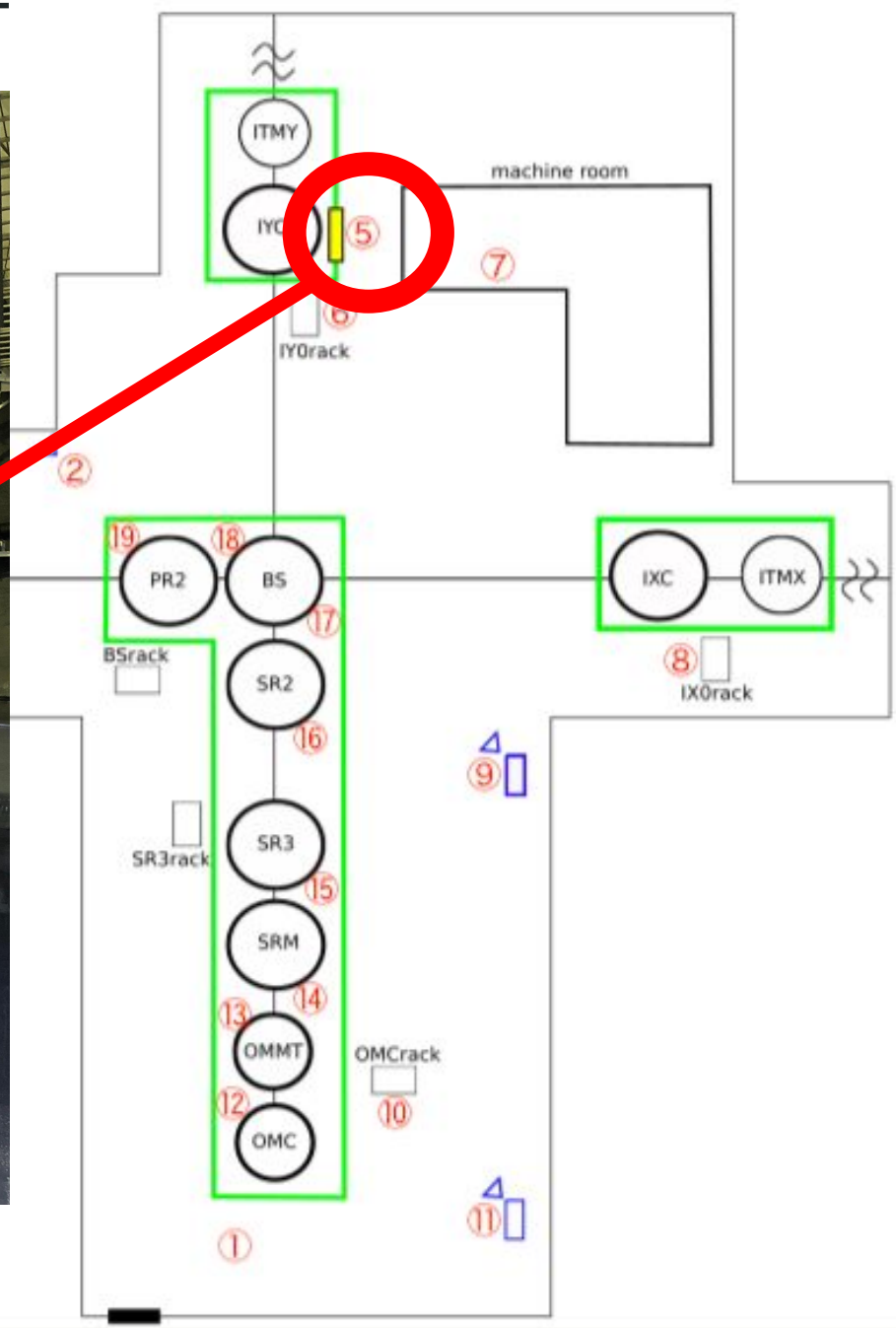



ITMY
IYC
MCEN
IFI
IMM
PRM
PR3
PR2
BS
SR2
SR3
SRM
OMMT
IXC
ITMX
BSrack
IX0rack
OMCrack
magnetic field[T/√Hz]
frequency[Hz]


最も磁場が大きい測定場所
ITMY
IYC
ITMX
IX0rack
SR3
SRM
OMMT
OMCrack
magnetic field[T/√Hz]
frequency[Hz]

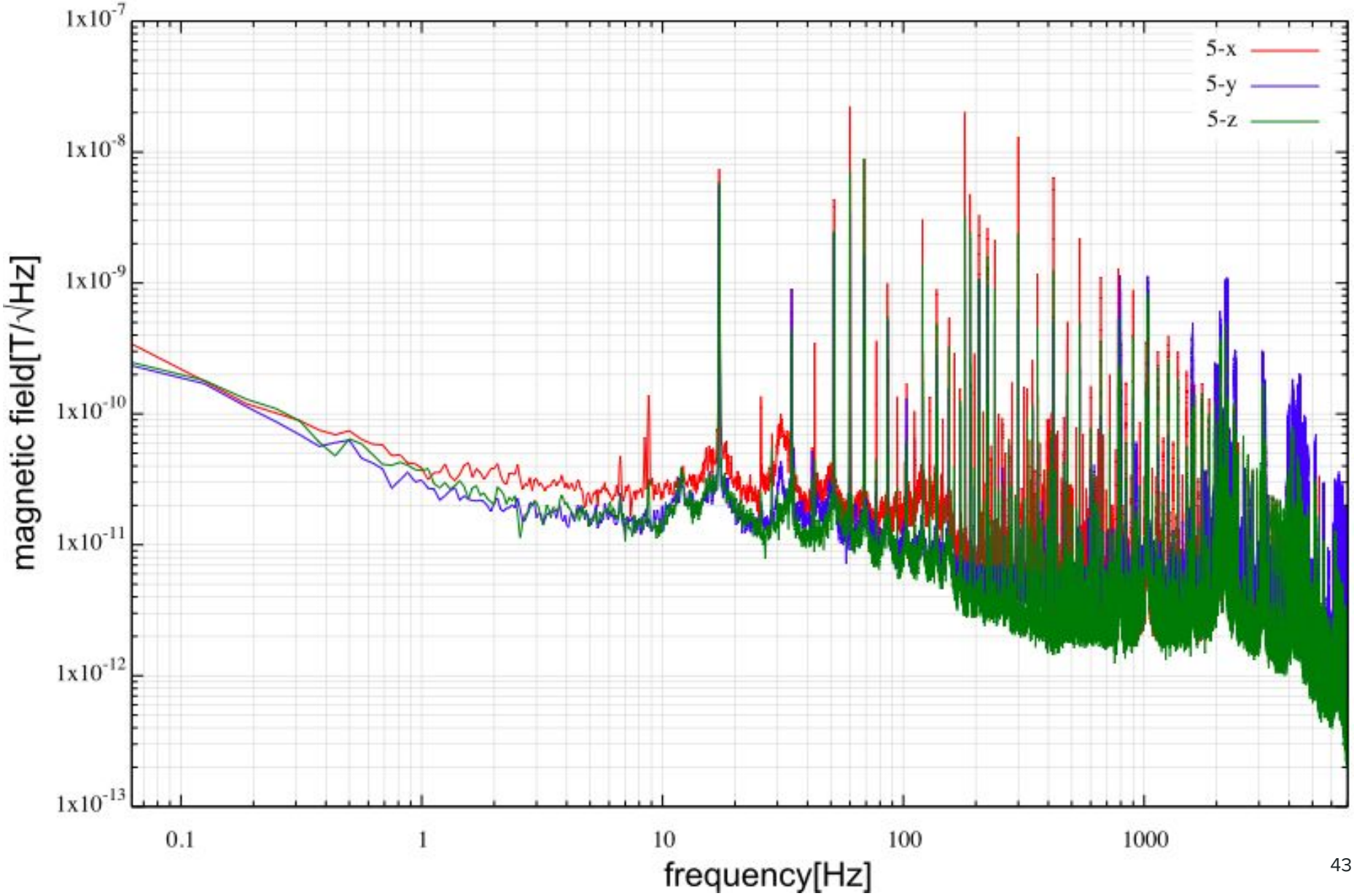
最も磁場が大きい測定場所



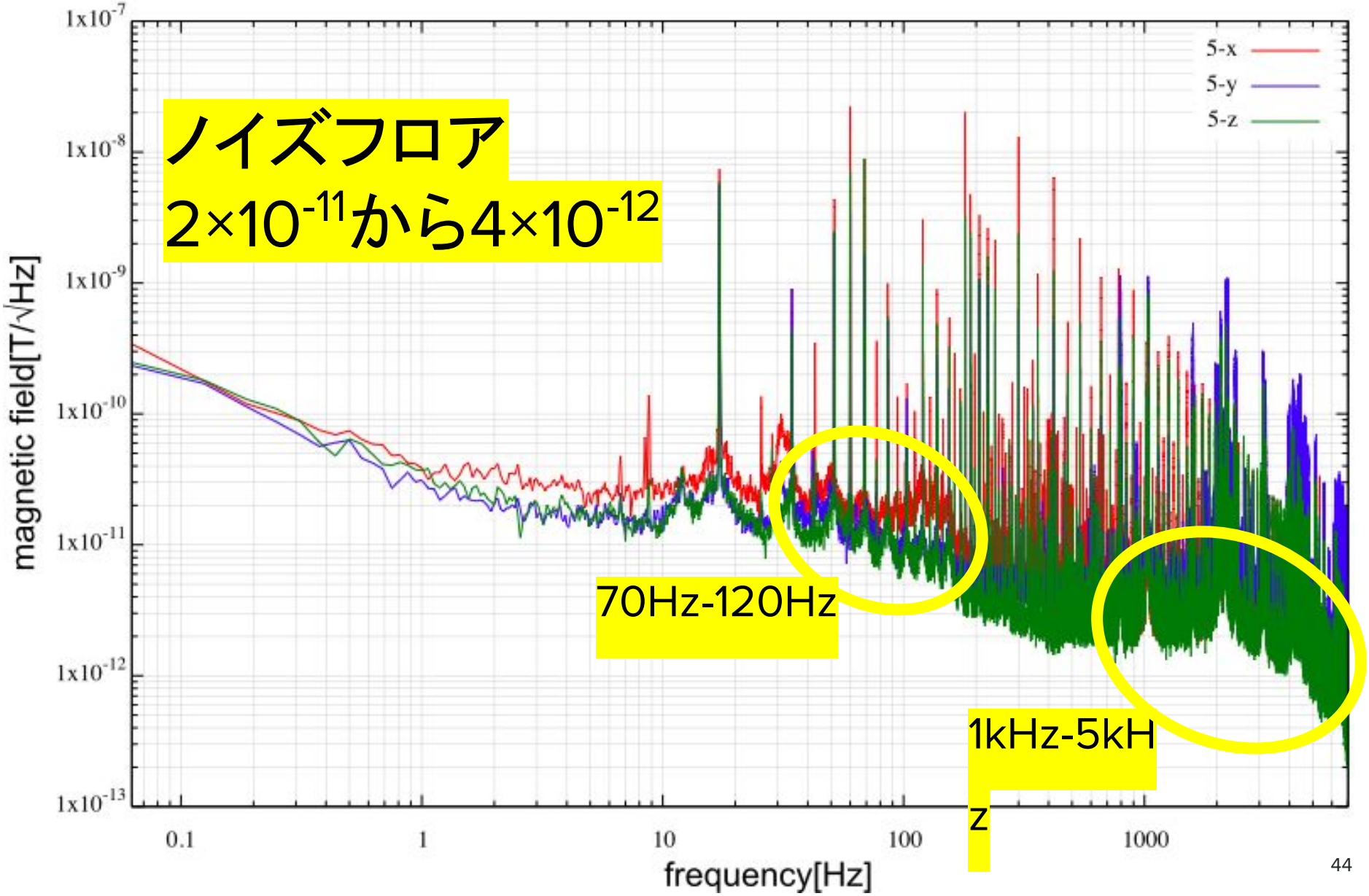


○：測定場所

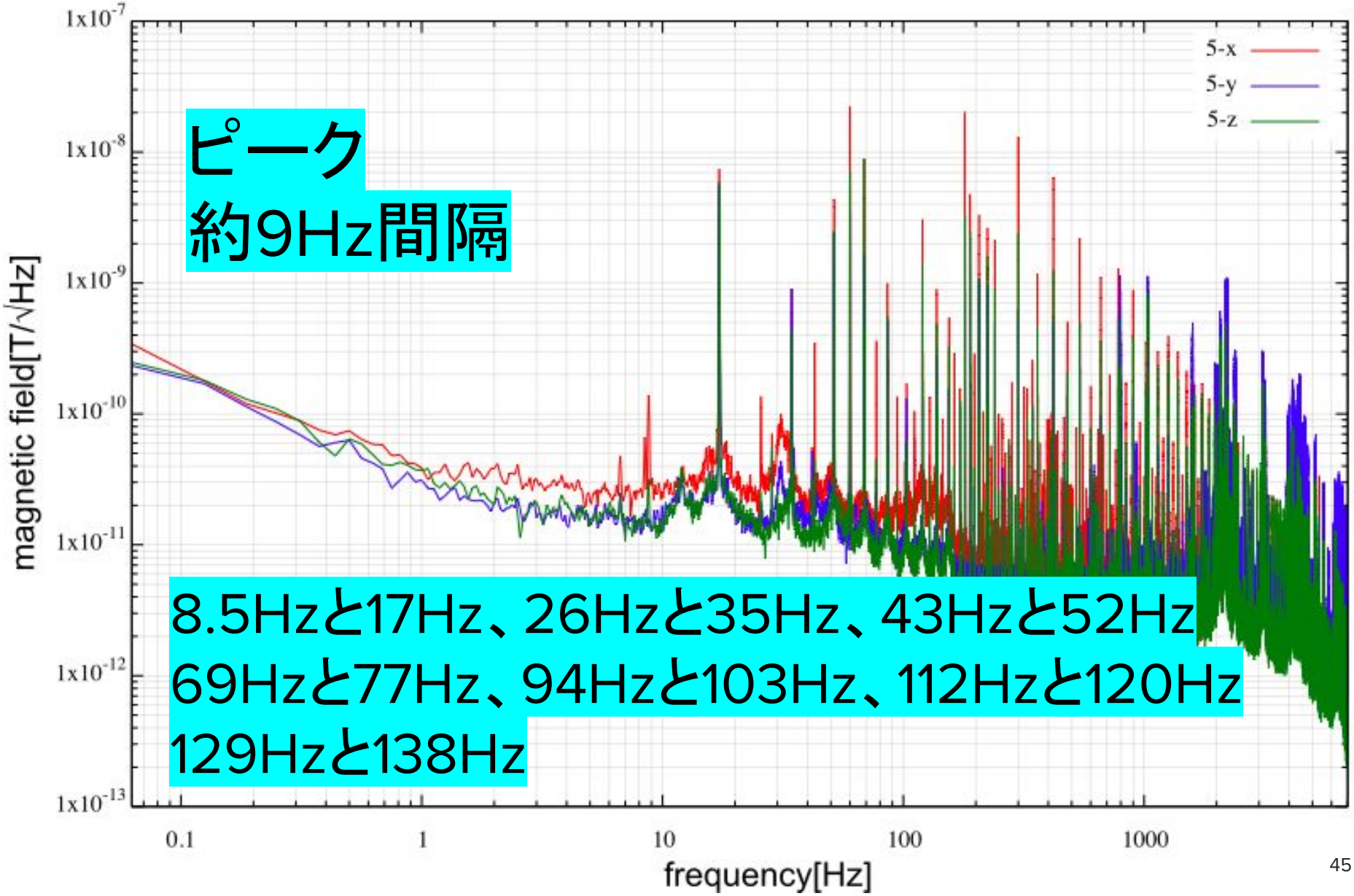
IYCチェンバー横にあるKOACH FILTER前でのスペクトル



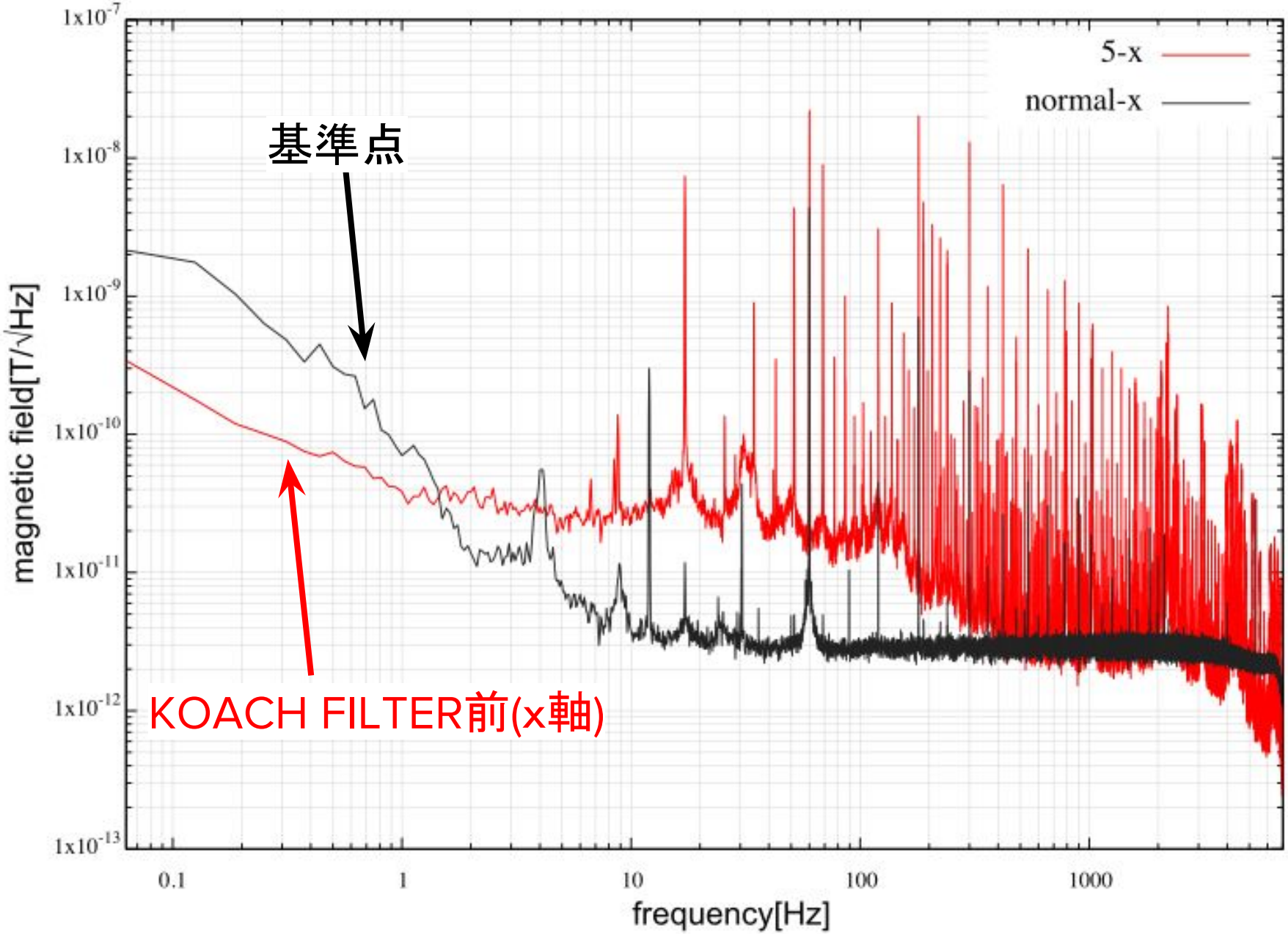
IYCチェンバー横にあるKOACH FILTER前でのスペクトル



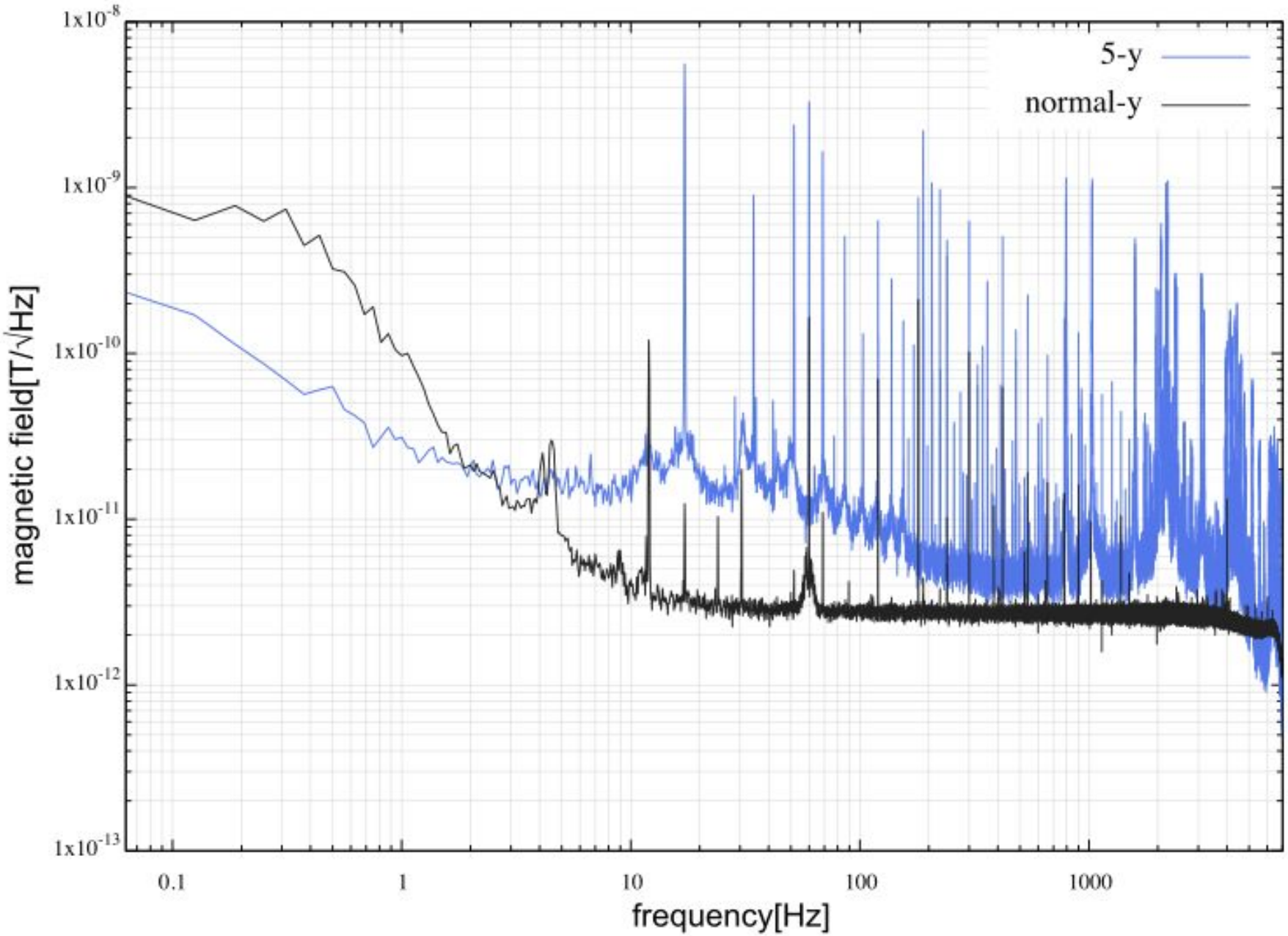
IYCチェンバー横にあるKOACH FILTER前でのスペクトル



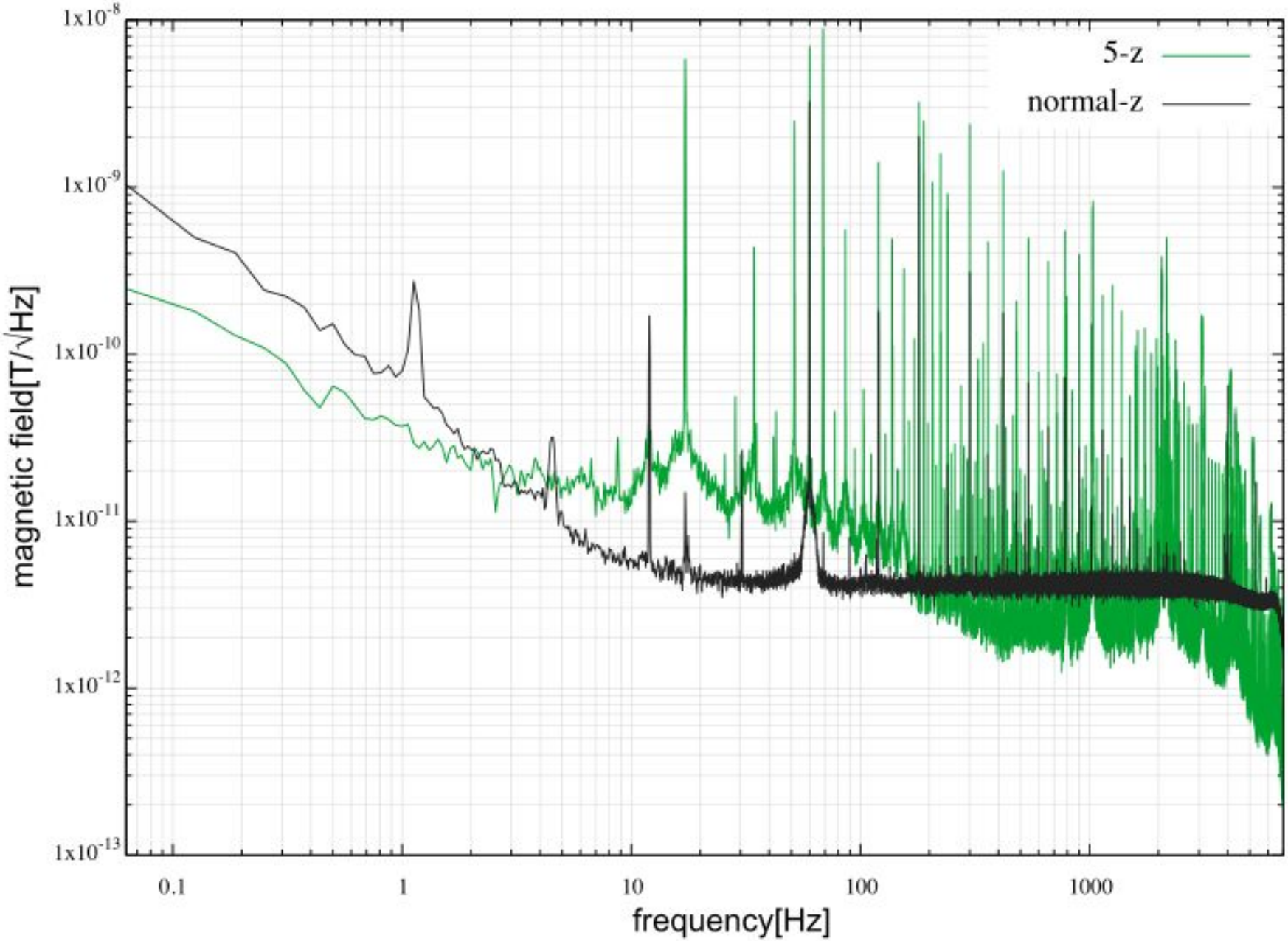
基準点とのx軸比較

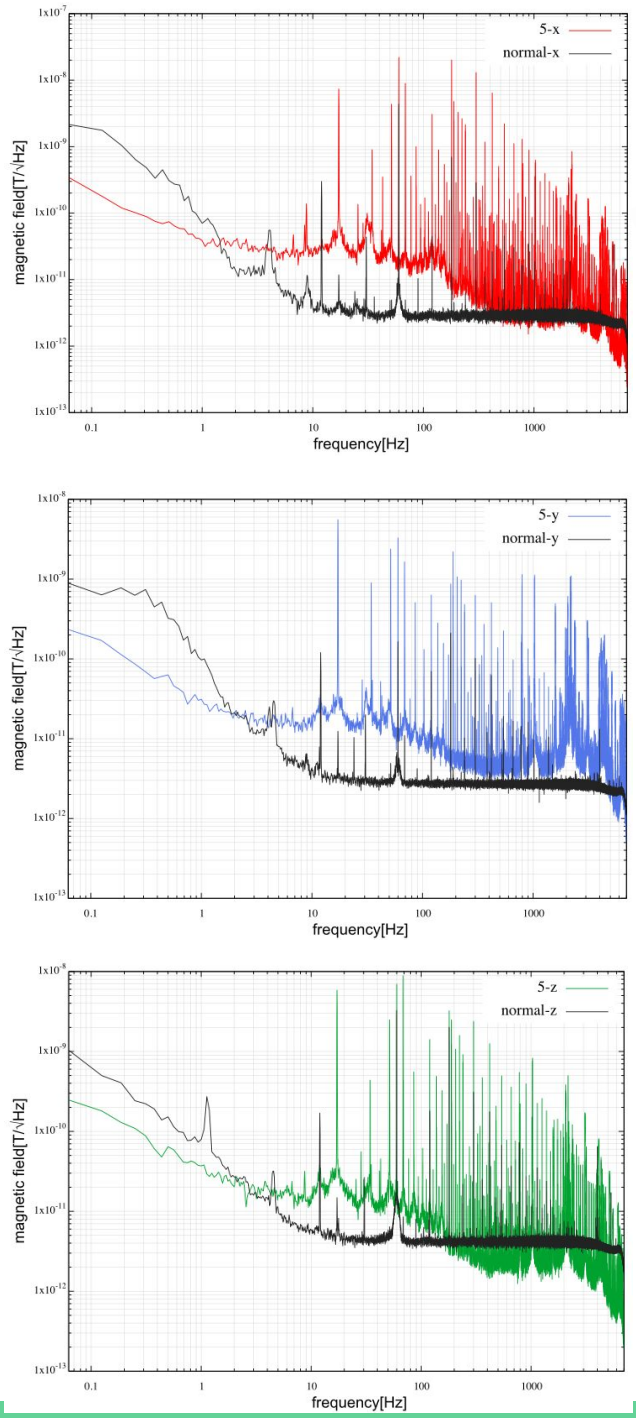

5-x
normal-x
基準点
KOACH FILTER前(x軸)
magnetic field[T/√Hz]
frequency[Hz]
1x10^-7
1x10^-8
1x10^-9
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
1x10^-13
0.1
1
10
100
1000

基準点とのy軸比較


5-y
normal-y
1x10^-8
1x10^-9
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
1x10^-13
magnetic field[T/√Hz]
0.1
1
10
100
1000
frequency[Hz]

基準点とのz軸比較


5-z
normal-z
1x10^-8
1x10^-9
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
1x10^-13
magnetic field[T/√Hz]
0.1
1
10
100
1000
frequency[Hz]



基準点との比較

・ノイズフロアのオーダーは
基準点より**約10倍**高い

・ノイズフロアで特有の盛り上がり

・ピークの数は3軸共に
KOACH FILTER前の方が多い

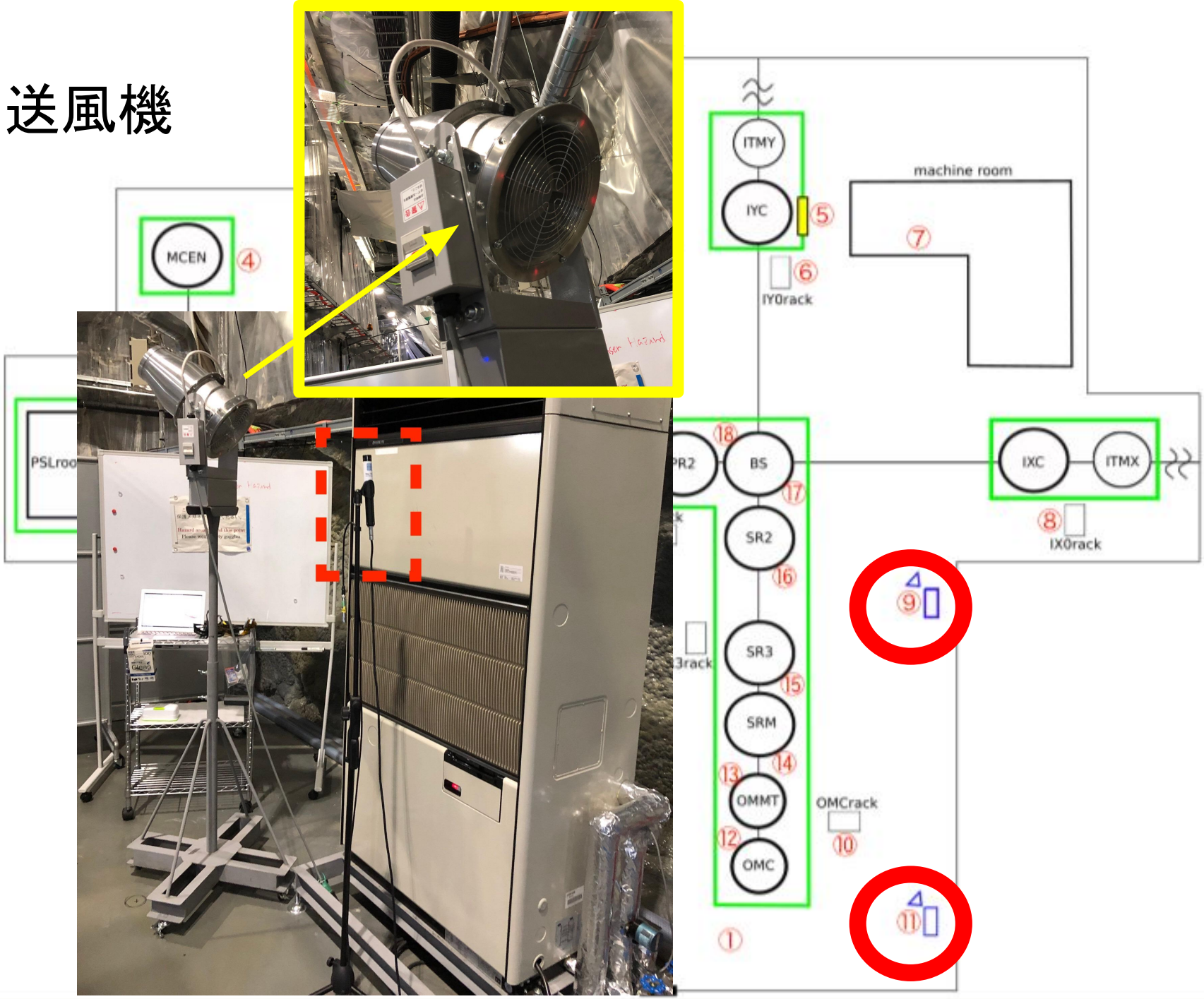
・3軸共通のピークは17.2Hz

・特にx軸での磁場が強い

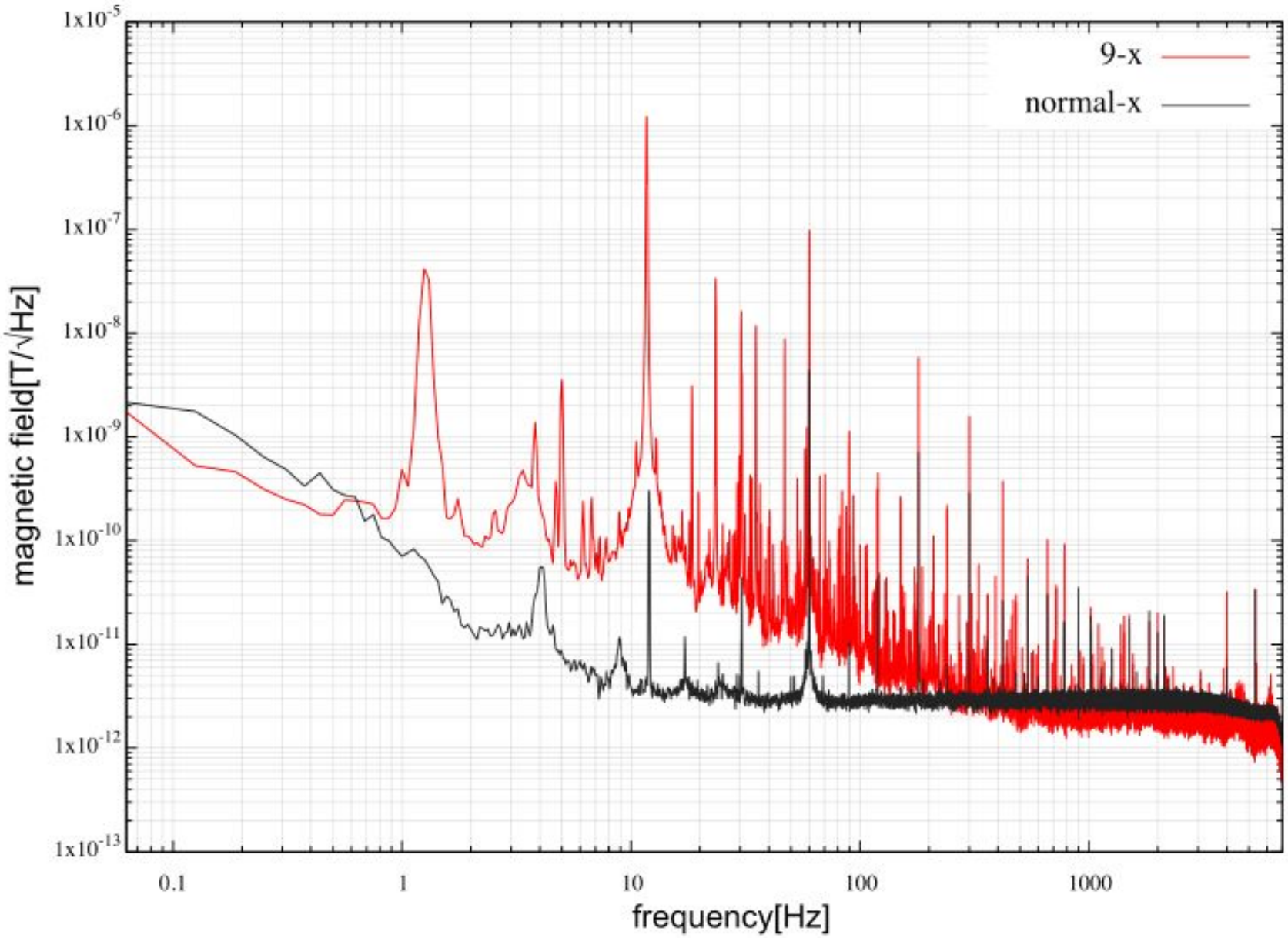
基準点より磁場が大きい

KOACH FILTER内にあるファンの
モーターによる影響？？

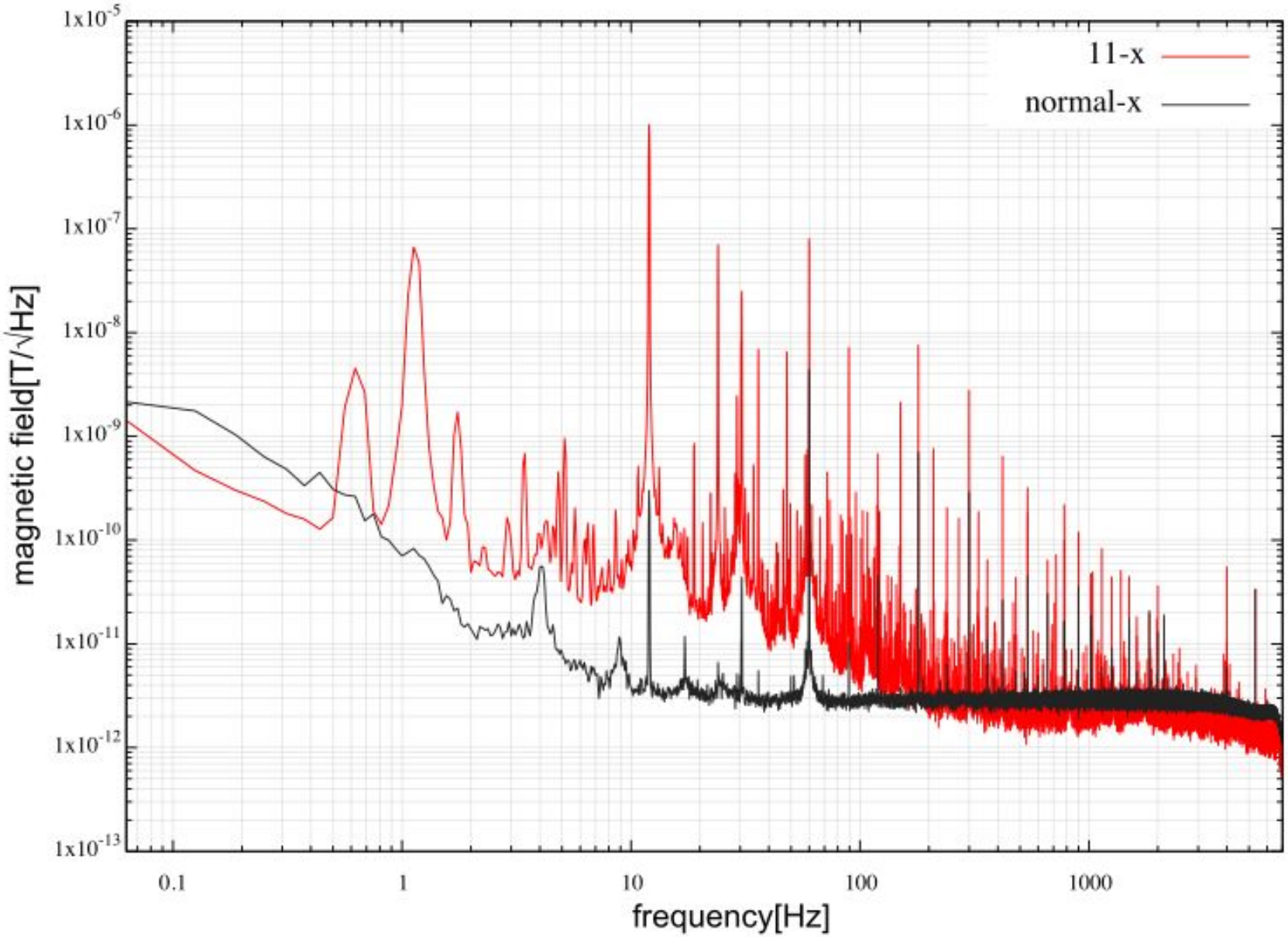
送風機


ITMY
IYC
⑤
⑥
IY0rack
machine room
⑦
MCEN
④
PSLroo
⑱
PR2
BS
⑰
IXC
ITMX
⑧
IX0rack
SR2
⑯
⑨
SR3
⑮
SRM
⑭
⑬
OMMT
OMCrack
⑫
OMC
⑩
⑪
①

SR2チェンバー横の送風機、冷風機前：x軸比較

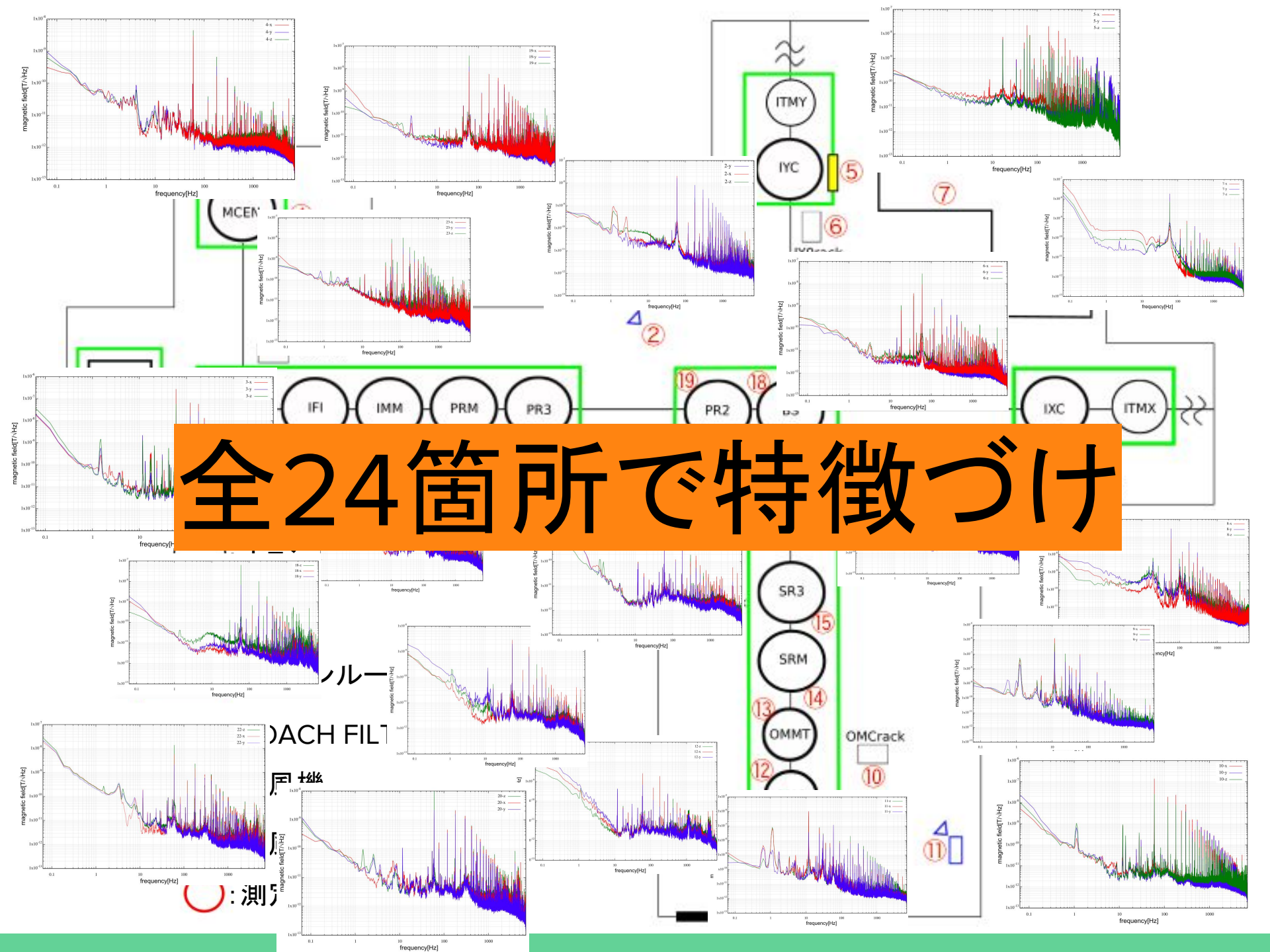


OMCチェンバー横の送風機、冷風機前：x軸比較



KOACH FILTERや送風機内にあるファンのモーターによる影響

モーターのコイルの回転磁界による磁場


全24箇所で特徴づけ
ITMY
IYC
IFI
IMM
PRM
PR3
PR2
IXC
ITMX
SR3
SRM
OMMT
OMCrack
magnetic field[T/√Hz]
frequency[Hz]

共通したピーク

特徴的なライン

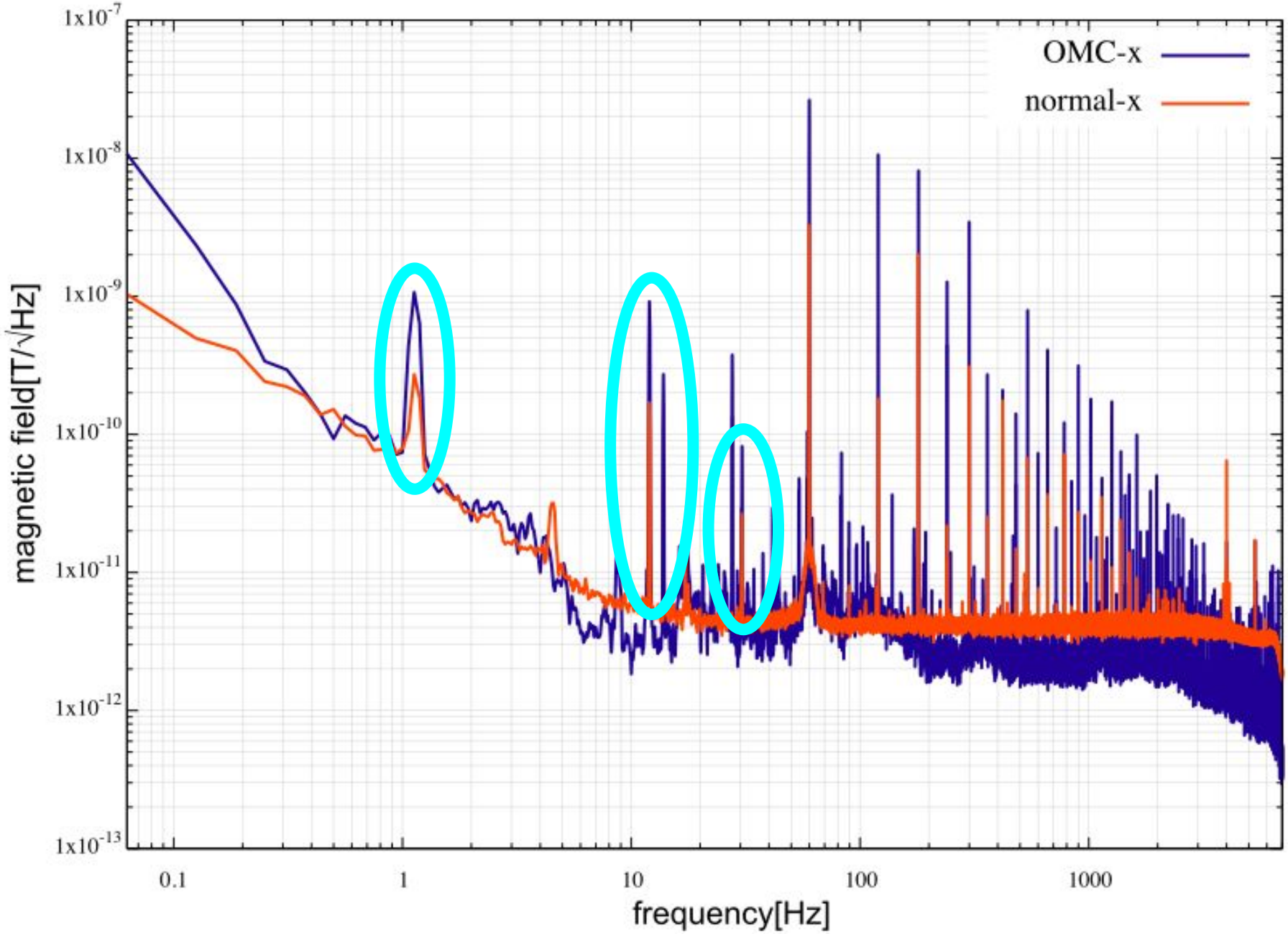
まとめ

共通したピーク

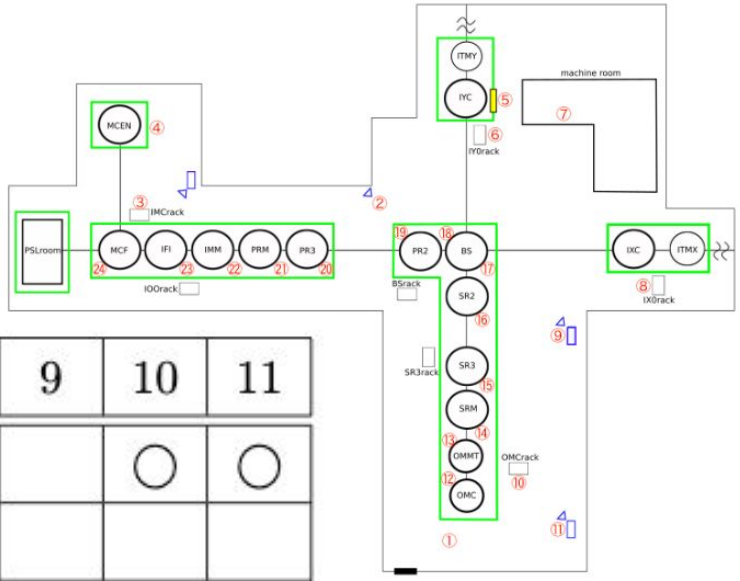
特徴的なライン

まとめ

共通したピーク=共通した磁場発生源

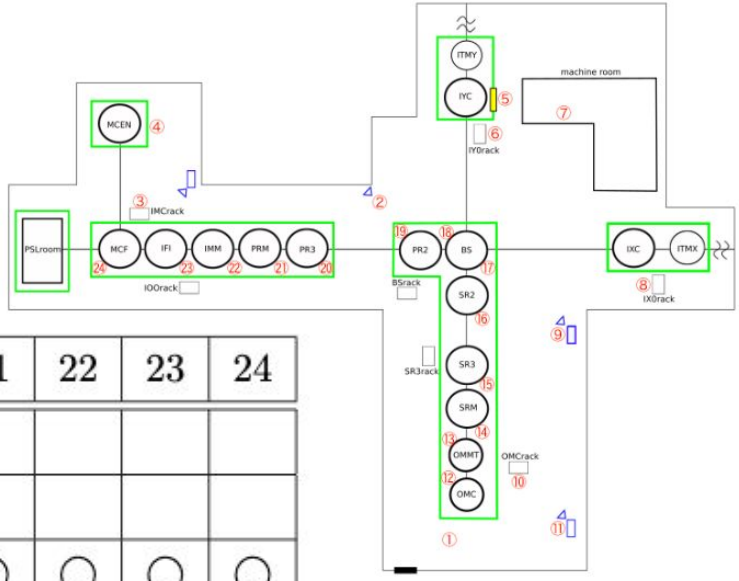


クリーンルーム内



周波数 [Hz]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.1	○	○								○	○
1.5			○								
4	○		○	○							
11.7		○	○	○					○	○	○
17.2	○		○	○	○	○		○	○	○	○
20				○				○			○
30.5	○		○	○		○	○		○	○	○
37						○			○		
40								○	○		
44		○	○			○		○		○	
54		○		○				○		○	

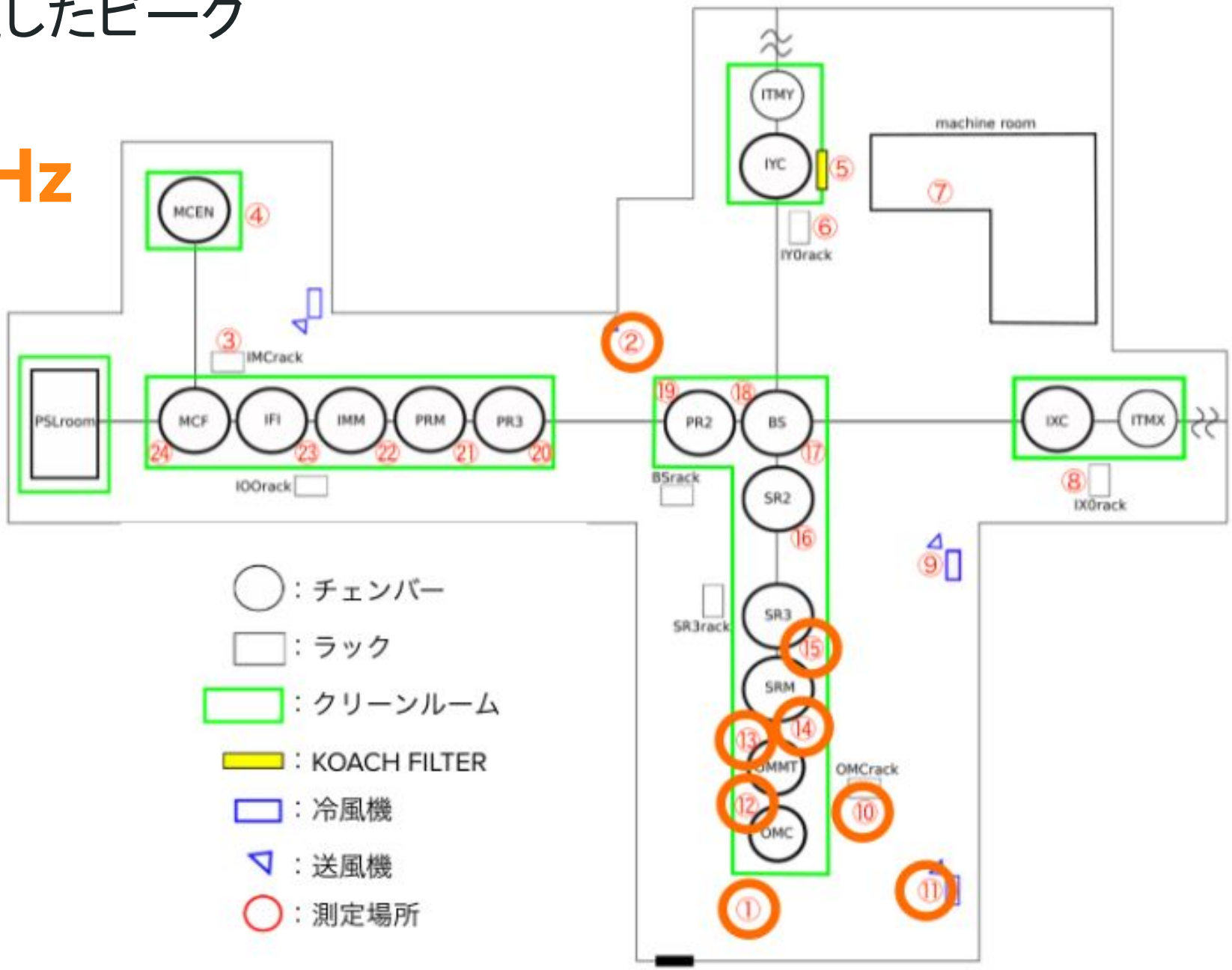
クリーンルーム外



周波数 [Hz]	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1.1	○	○	○	○									
1.4		○	○	○	○	○	○	○					
1.5									○	○	○	○	○
3.6									○	○			○
4			○		○					○	○	○	
11.7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
17.2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○				○	○		○	○				○
23.5	○	○	○	○	○	○					○	○	○
24								○	○	○	○		
30.5	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
34					○	○		○					
36		○	○	○	○	○		○	○	○			○
44	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
54	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

共通したピーク

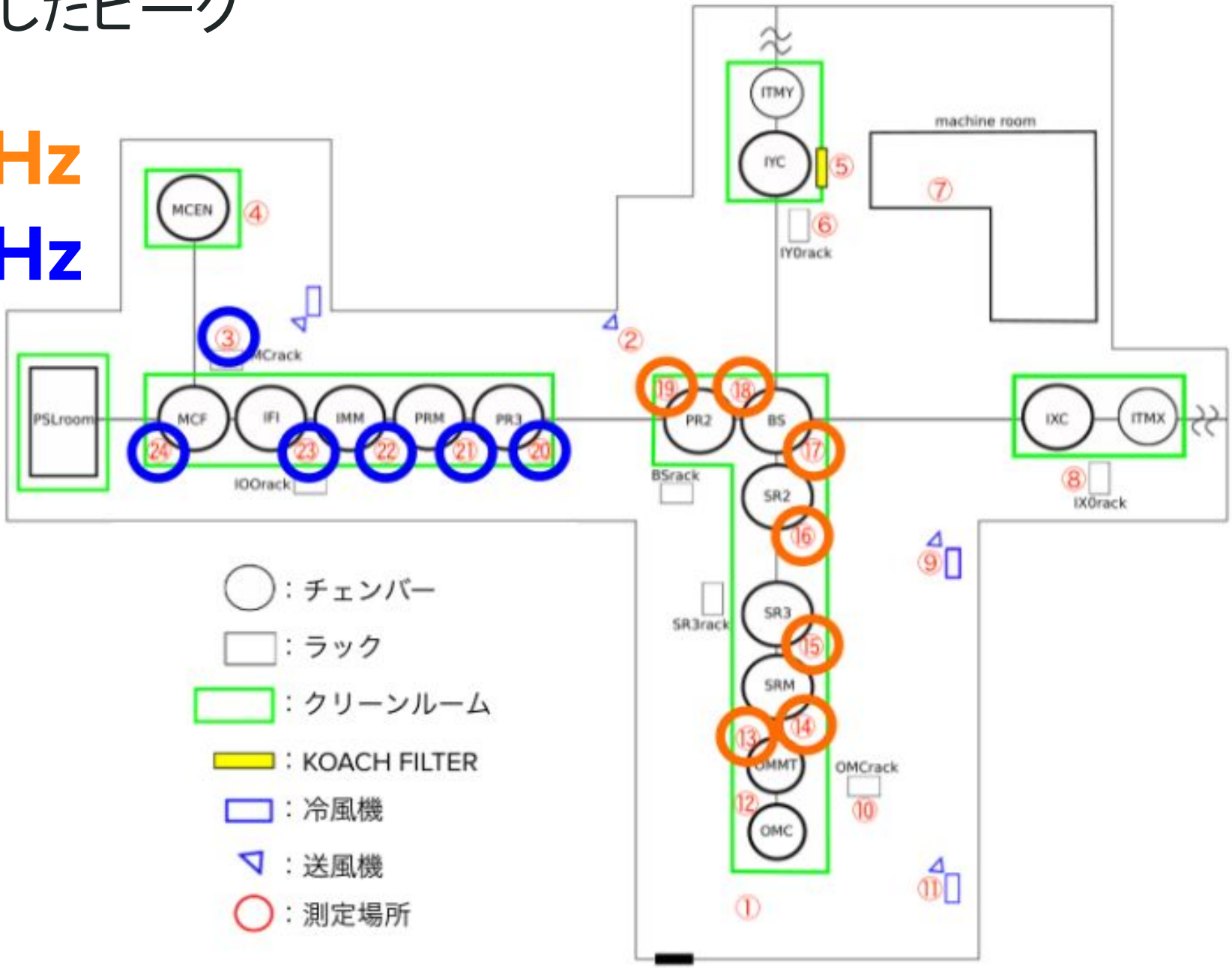
1.1Hz



共通したピーク

1.4Hz

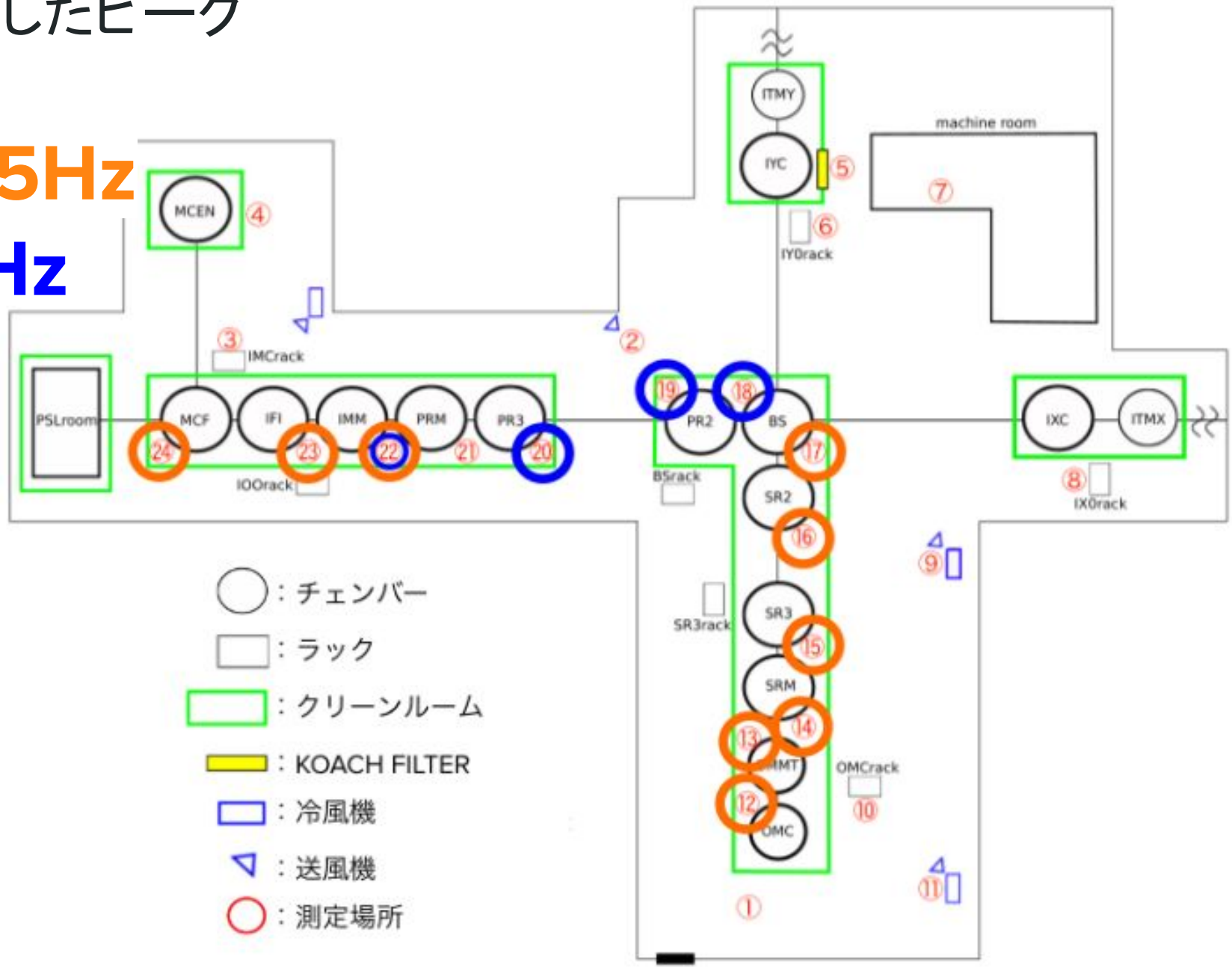
1.5Hz



共通したピーク

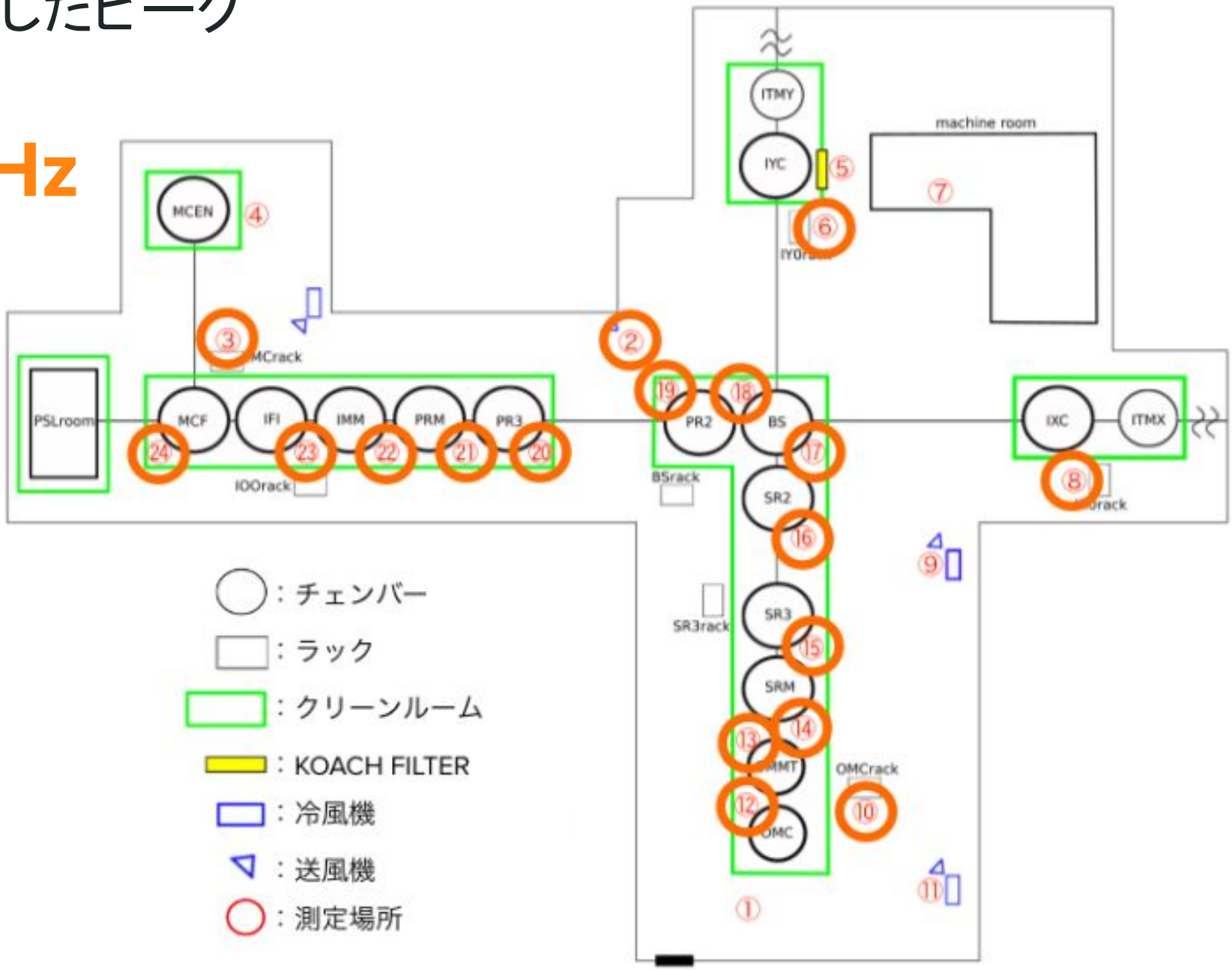
23.5Hz

24Hz



共通したピーク

44Hz



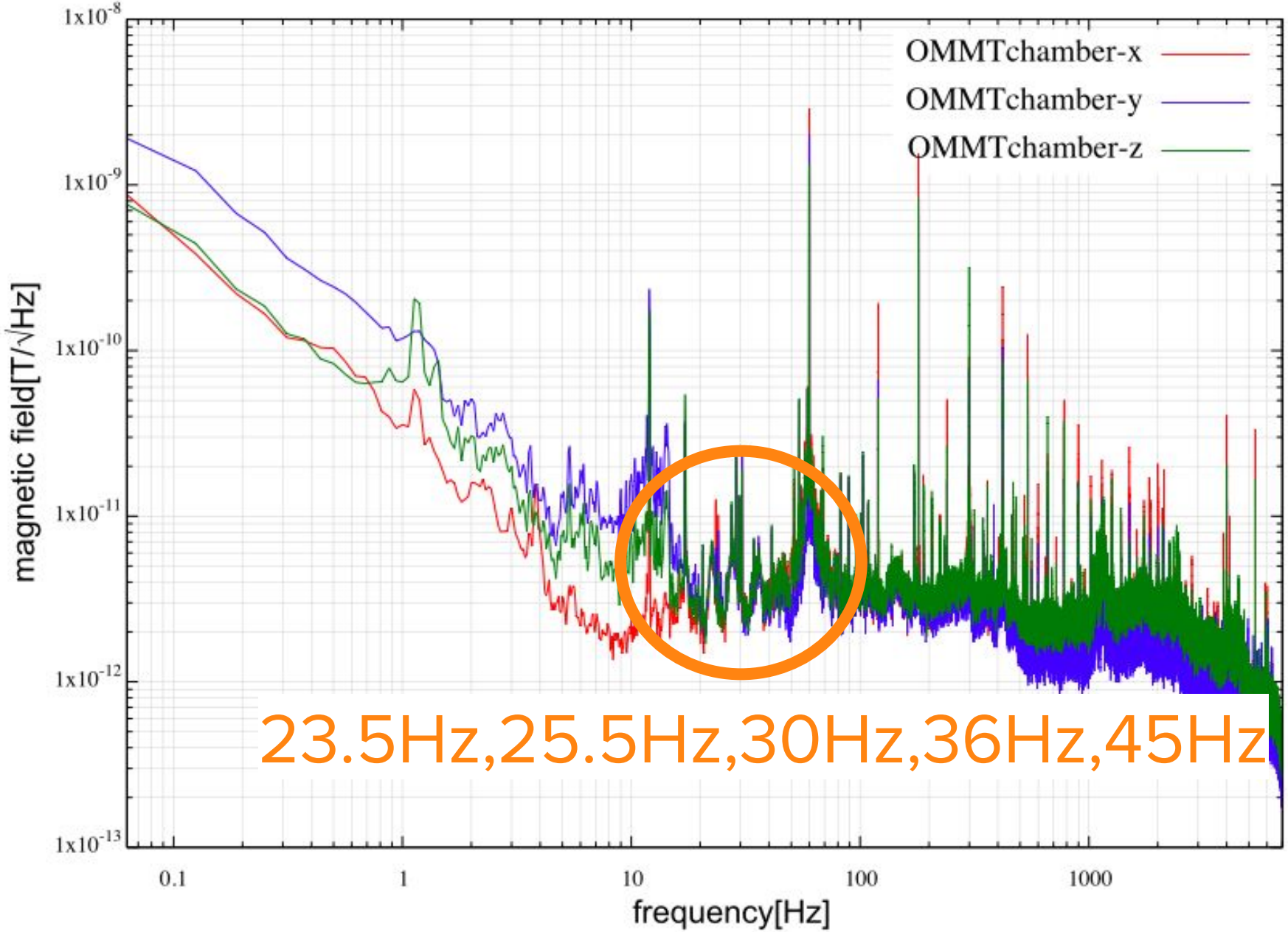
共通したピーク

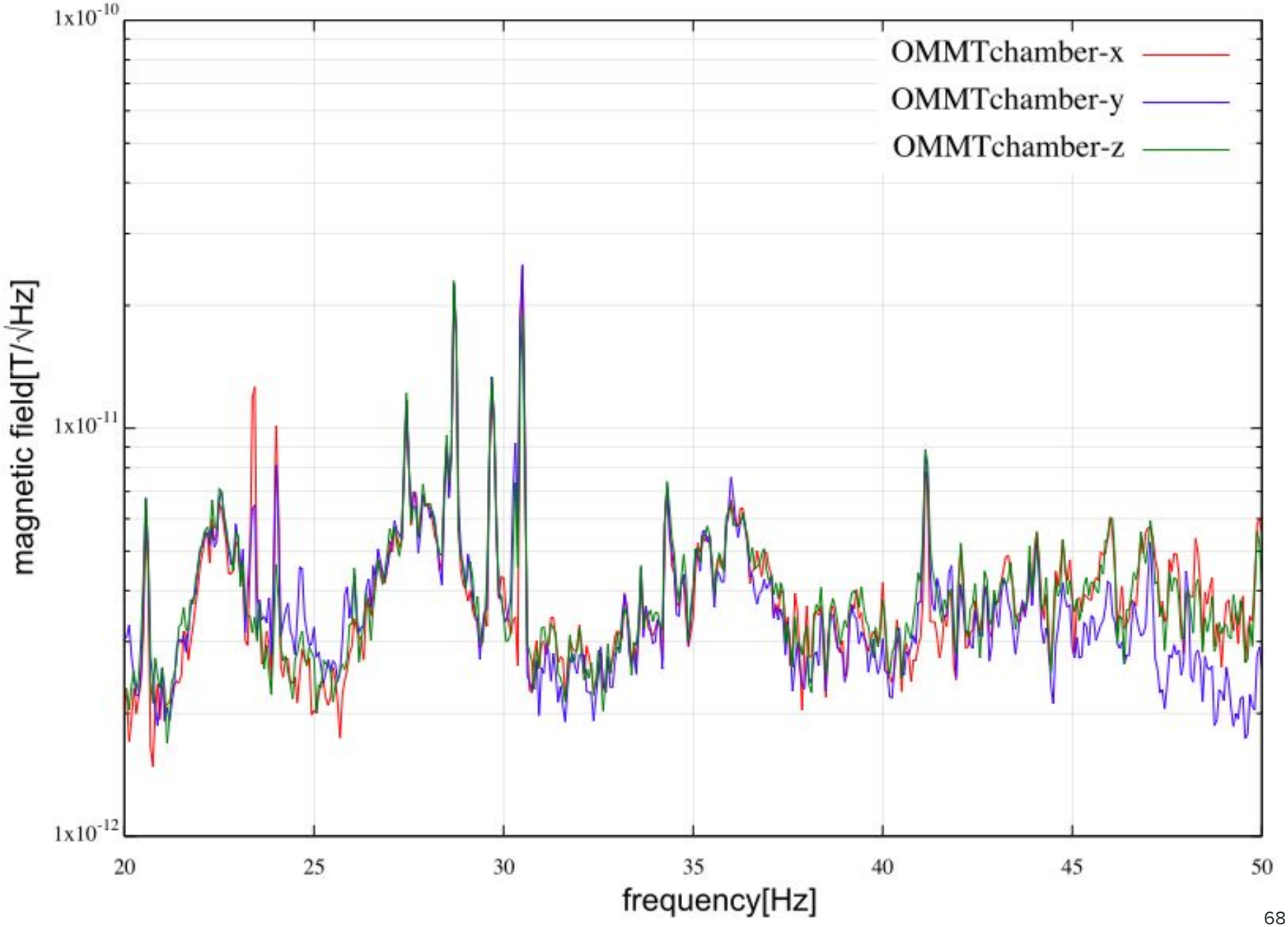
特徴的なライン

まとめ

チェンバー付近：低周波でのノイズフロアの盛り上がり

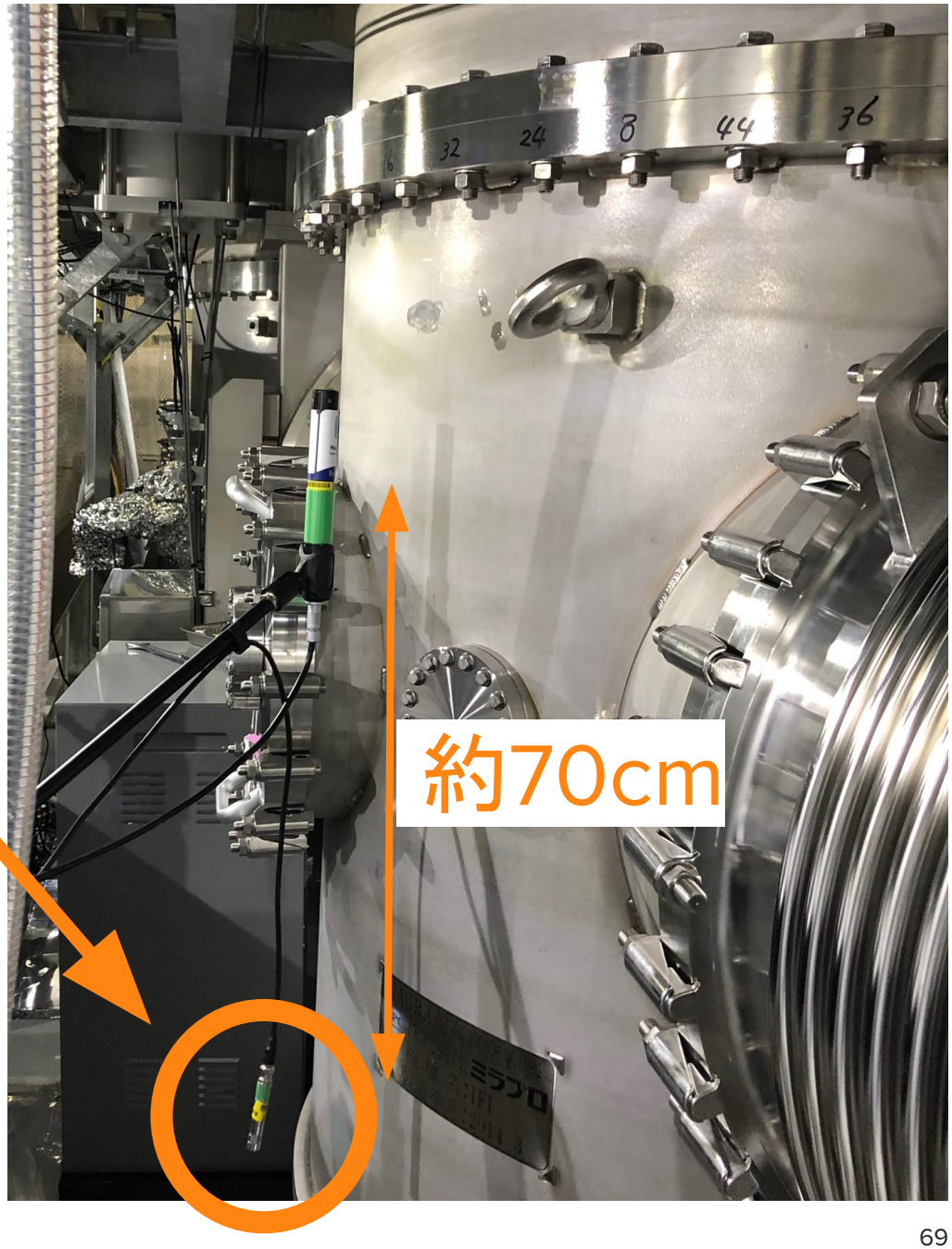
チェンバー付近：低周波でのノイズフロアの盛り上がり



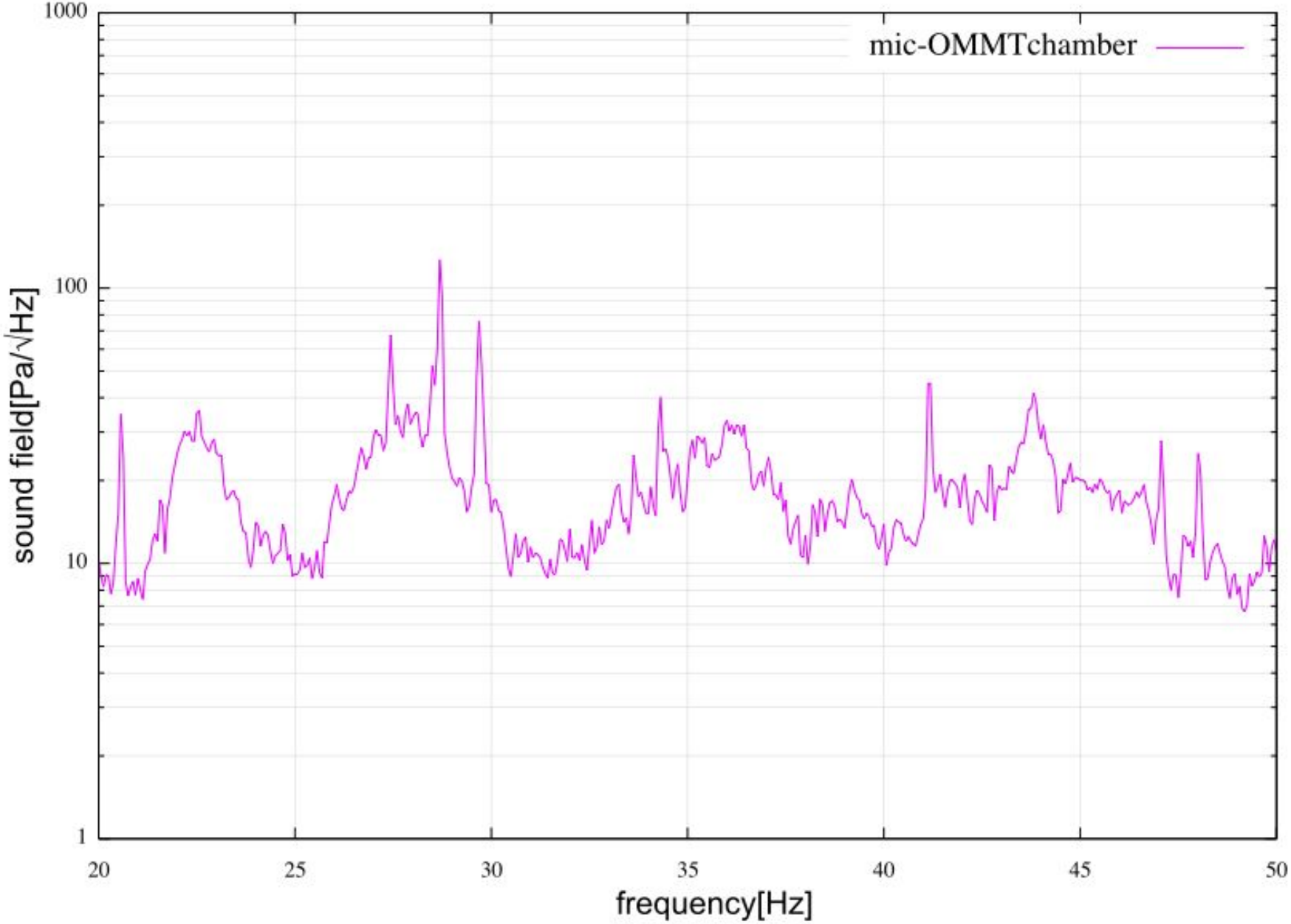

OMMTchamber-x
OMMTchamber-y
OMMTchamber-z
magnetic field[T/√Hz]
1x10^-10
1x10^-11
1x10^-12
20
25
30
35
40
45
50
frequency[Hz]

マイク

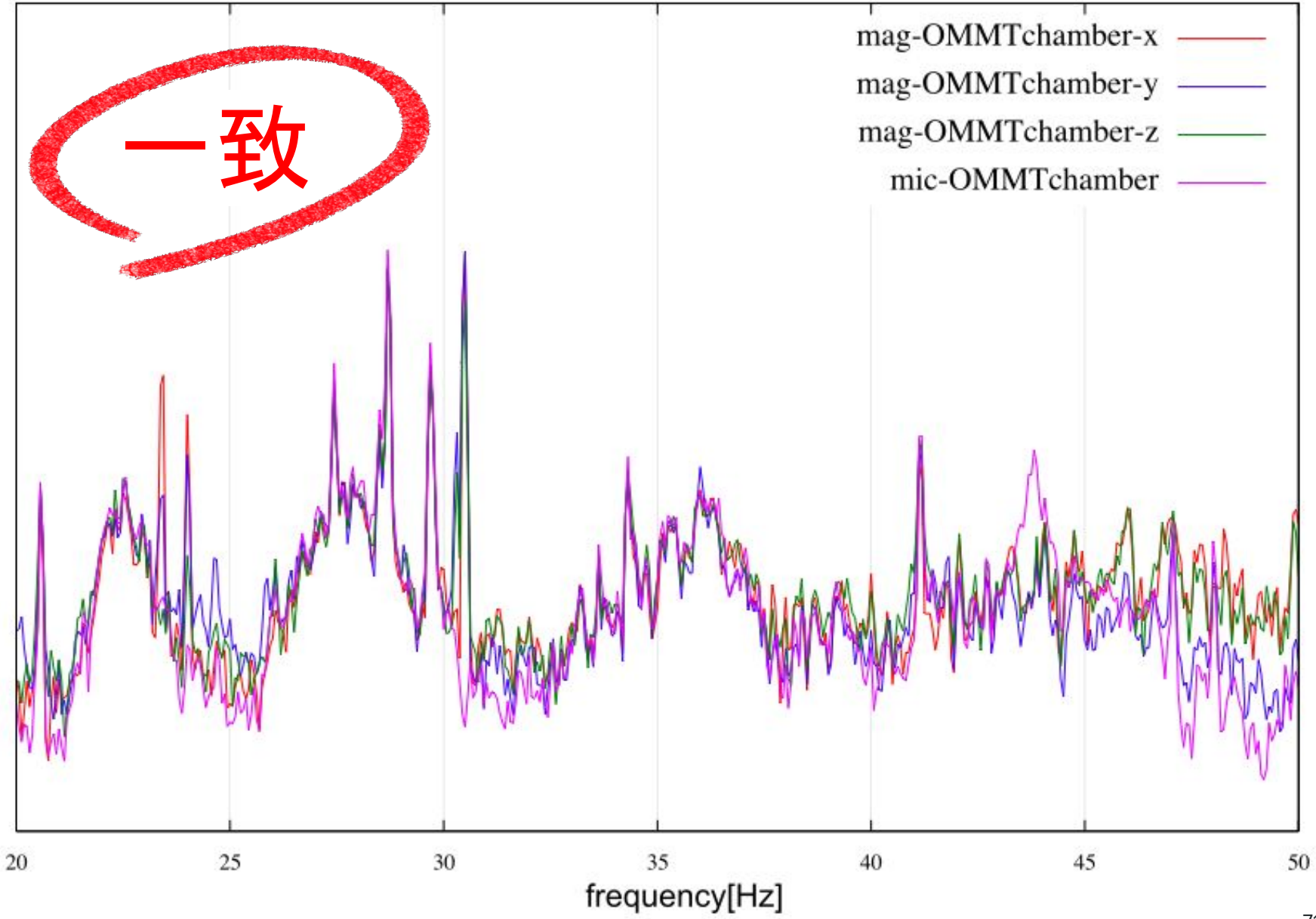
周波数帯：20Hz～10kHz



マイク：低周波でのノイズフロアの揺らぎ



磁束計とマイクのスペクトルの形を比較



磁束計とマイクのスペクトルが一致

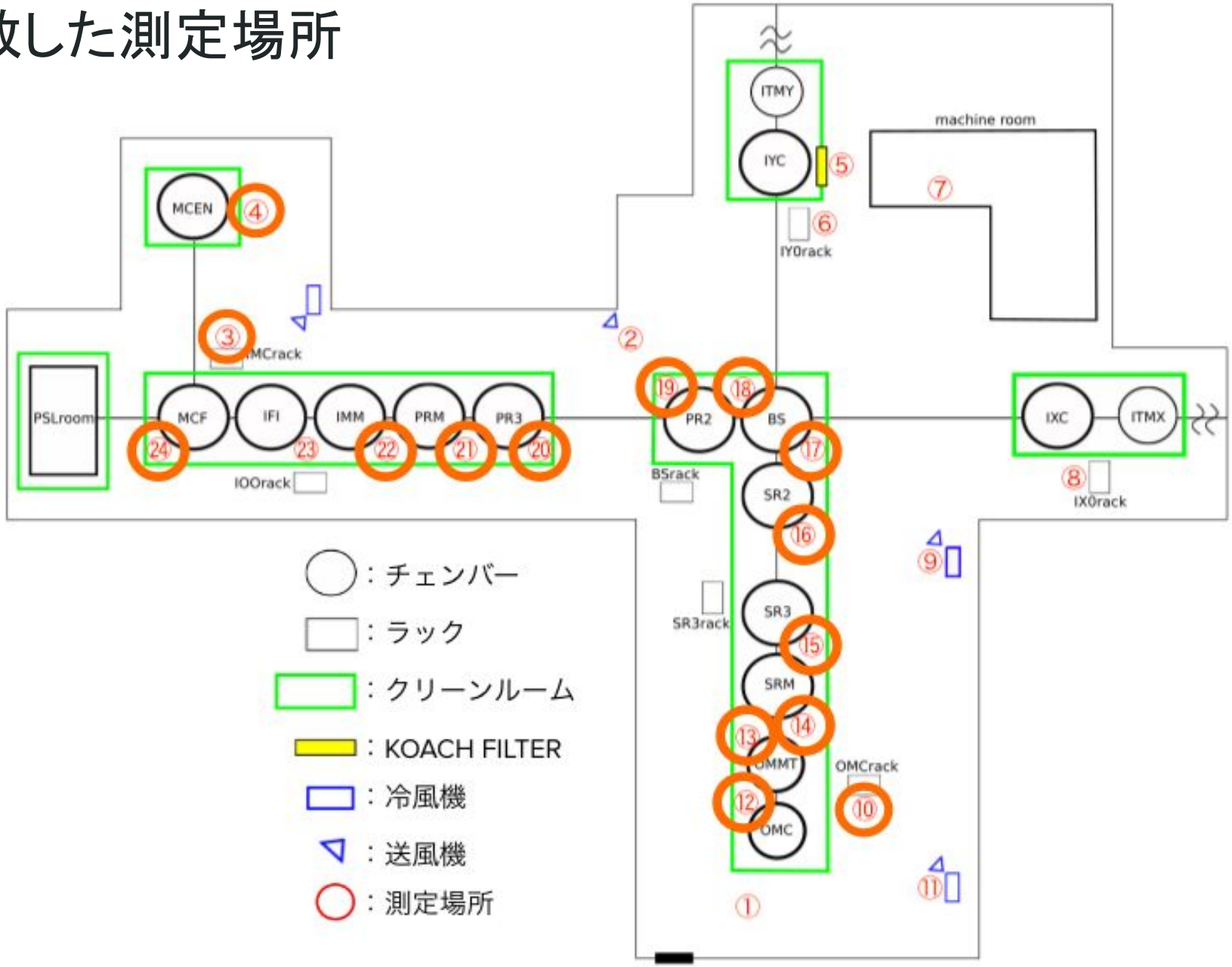
原因

①同じ雑音発生源からのノイズ

⇒音場が周辺の金属を揺らし、磁場が発生している可能性

②マイクスタンドの共振

磁束計とマイクの低周波でのスペクトルが一致した測定場所



磁束計とマイクのスペクトルが一致

原因

①同じ雑音発生源からのノイズ

⇒音場が**周辺の金属**を揺らし、磁場が発生している可能性

②マイクスタンドの共振

目次

1，研究背景

2，環境磁場測定

3，測定結果

4，まとめと今後の展望

5, まとめと今後の展望

まとめ

・現在のKAGRAの磁束密度のオーダー：10^{-11}-10^{-12} [T/√Hz]

・KOACH FILTERや送風機などファンを用いた機械類の磁場が大きい

・音場によって環境磁場が発生している。（特にチェンバー付近）

今後の展望

・ファンのON/OFFの比較

・共通したピークの磁場発生源を調べる

・ラックの中に収納されている回路ひとつひとつの磁場を調べる

・環境モニターの設置箇所を増やし、環境雑音の把握、雑音源の特定

fin