



## パーソナル・スタジオ設計の音響学 その24 特別編「音響設計実践道場」1/1の世界で音響設計！ ～第五回 続 ロビングエラー（The Focal Family）～

### Focal Familyの音響ダブレット的性格を探究

（中原雅考）

このところ二重音源「音響ダブレット」の世界にどっぷりとはまってる隊員の皆さん。

スピーカーはまさに「音響ダブレット」の宝庫ですね。

クロスオーバー周波数での特性を色々と観察してきたことで

同じシリーズのスピーカーでも様々な特徴があることが分かってきたのではないのでしょうか。

顔が違えば性格も違う。

対称系の顔には対称系の特性、非対称の顔には非対称の特性が宿ります。

そして、世の中の多くのスピーカーは非対称の顔です。

例えば、ツイーター1個とウーファー1個で構成されている2ウェイスピーカー。

何の気なしに設置しているかもしれませんが、ツイーターをどの向きに設置するのが正しいのでしょうか？

縦置きでツイーターを上側に？下側に？横に倒して左側？右側？

迷った時こそ、クロスオーバー周波数での「音響軸」と「カバーエリア」に着目です。



さて、今回からいよいよFocalのインウォールタイプのスピーカーの全種測定に突入します。

隊員の皆さんにはかなりの労力が要求されますが

これまでの経験と培った知恵とチームワークで、Focalファミリー全員の性格を解き明かしましょう。

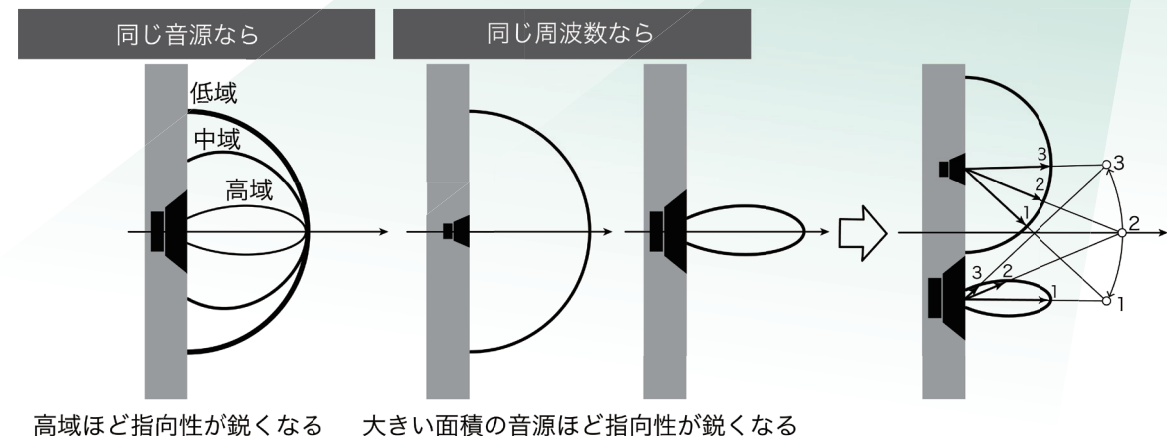
全種測定大会「その1」の今回は

音響軸とカバーエリア（ロビングエラー）一斉公開です。

2wayの顔を持つスピーカーだと、どちら側にカバーエリアが広いのでしょうか。

ツイーター側？ウーファー側？

以下、隊員の皆さんの測定結果を眺める際のご参考まで…



高域ほど指向性が鋭くなる

大きい面積の音源ほど指向性が鋭くなる

【図1】有限大音源と指向性

「吹き抜けのある空間」に4π再生環境を構築すべく理想のスピーカーを探して三千里。今回はFocalの新モデル3機種を測定しポラパターンを観察しました。「ユニット間の距離=d」が近いスピーカーほどカバーエリアが広いということが確認できた一方で、スピーカーごとに個性的な特徴が見えてきて……。ミカミ名誉隊長のいうところの“ロビエラ対決”。まだまだ戦いに決着が付きません。「音響ダブレットの世界」は深く果てしなく続いているようです。

えりっこ隊長(以下、え):ねえ聞いた? Focalからまた新しいシリーズが発売されたんですって。全部測定するんだ〜! ってDr. 中原がうきうきしてたわ。

りっこ隊長(以下、り):全部!? (前回の続きだけじゃないの!?)

イケイケ・イケウチ製麺隊員(以下、イケ麺):前回ご紹介したのはフラッグシップモデルの1000seriesで、第1回ロビエラ対決に登場したのは300seriesでしたよね。新しく発売された100seriesはさらにコスパの良いモデルらしいです。

箱を抱えて登場イーディーデIDE隊員(以下、イーデ):『チキチキ! 秋のFocal全種測定大会!』やデェ! デモ機ぜ〜んぶ取り寄せちゃったんやデェ♪

まっつん先輩隊員(以下、ま):行動が早い! ひい、ふう、みい…。全部で17台あるでげす(遠い目)…。(【表1】)。

イーデ:バックパネルがないモデルはエンクロージャーがあった方が良さそうやデェ♪

イケ麺:エンクロージャーは([2020 Spring号] P.82)を再利用してスピーカー設置面の板を新しく作りましょうか(【図2】)。

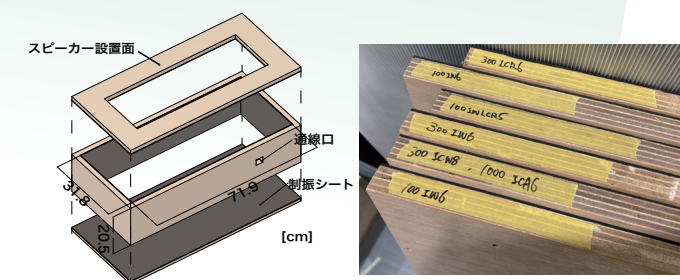
ま:測定の流れは前回の通りでげすね。

え:([2021 Spring号] 若手精鋭隊員の実験レポート)を参照よ!

【表1】測定スピーカー情報

クロスオーバー周波数が公開されていないモデルは推測値を( )で示してます。

series	type	型番	クロスオーバー周波数	S1,S2の距離 [cm]
100	in-wall	100 IW 6	(2kHz)	10.6
		100 IW LCR 5	(2kHz)	9.5
	in-ceiling	100 IC LCR 5	(3.15kHz)	6.6
		100 ICW 5	(3.15kHz)	0
		100 ICW 6	(3.15kHz)	0
		100 ICW 8	(3.15kHz)	0
300	in-wall	300 IW 6	(2.5kHz)	10.0
		300 IW LCR 6	(2.5kHz)	5.0
	in-ceiling	300 IC LCR 5	(3.15kHz)	8.7
		300 ICW 6	(3.15kHz)	0
		300 ICW 8	(3.15kHz)	0
		300 ICA 6	2.6kHz	0
1000	in-wall	1000 IW 6	2.1kHz	13.6
		1000 IW LCR 6	2.1kHz	7.5
		1000 IW LCR UTOPIA	2.1kHz	9.5
	in-ceiling	1000 ICA 6	2.6kHz	0
		1000 IC LCR 5	3.5kHz	8.5
		1000 ICW 6	2.6kHz	0



【図2】エンクロージャーと新しく作ったスピーカー設置面の板

イケ麺:隊長、実験方法を改良してもいいですか? 前回はスピーカーから平行線上で測定をして距離差の補正が手間だったので、今回は同心円上で測定できるように考えてみました(【図3】)。このアイテムを使えばチリバツ(注:ばっちりの意)です(【図4】)。

ま:がーさす!(注:さすがの意)

イーデ:どうせならポラパターンの「くびれ」まで観察したいってことで測定範囲も1°刻みで±40°まで大幅拡大やデェ〜!

イケ麺:1台につき80点だから計1360点ですね!

え・り・ま:(…。正気か!?)

イーデ:全種測定大会、スタートやデェ〜。

〜〜 1週間後 〜〜

ま:お、終わりました〜。。。。

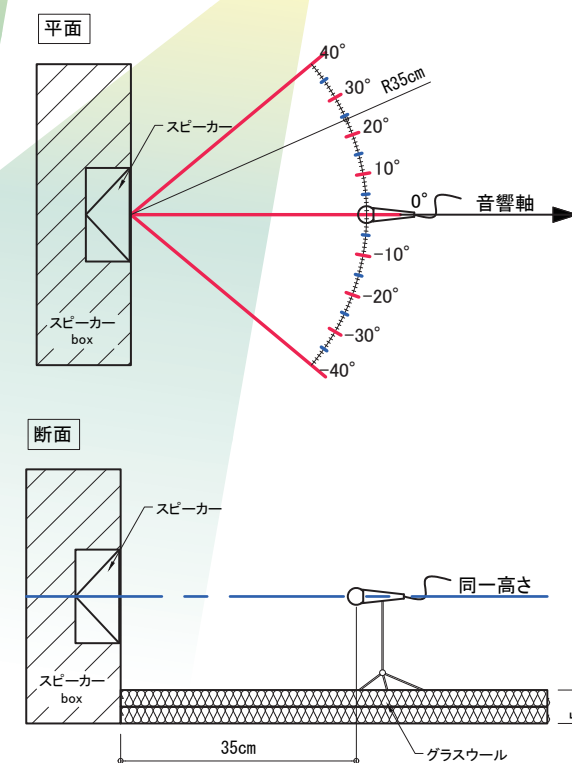
イーデ:思ったより楽勝やったデェ〜♪なあ?

ま・イケ麺:。。。 (白目)。

え:おつかれさまでした! いや〜大掛かりな測定でしたね。

り:さて次はこの膨大なデータを分析しないとね。クロスオーバー周波数でポラパターンを描いていこう。

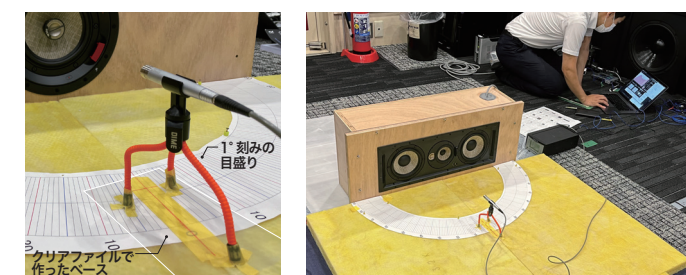
ま:ちょっと待った! クロスオーバー周波数が分からないモデルがあるでげす。姉さん達、どうしましょう。



【図3】測定位置

同心円上で測定できるように改良しました!

マイクをスピーカーの中心に向けてセットしてインパルス応答を測定します。



【図4】改良アイテム(左)と測定風景

ベースの印と測定用の目盛りを合わせれば、正確でスピーディーな測定が可能!



え：よくぞ気付きました！今回はメーカーがクロスオーバー周波数の情報を公開していないモデルも多いの。だから測定結果の周波数特性を眺めてクロスオーバー周波数を推測してみよう。

ま・イケ麺・イーデ：了解！

【参考】2 ウェイスピーカーでは、クロスオーバー周波数近辺において、ウーファーとツイーターといった異なる2ヶ所から同じ音を再生している「音響ダブルット」状態となります。つまり、マルチウェイスピーカーは、クロスオーバー周波数近辺で急に指向性が変化する（極端に狭い指向性となる）性質を持っているということになります。（[2020 Spring 号] P.79 Dr. 中原の～事前準備の時間～より）前回の実験で周波数特性では軸から外れるほど**クロスオーバー周波数近辺にディップが生じる**ことが観察されました。今回はディップの位置を頼りにクロスオーバー周波数を推測してみることにします。

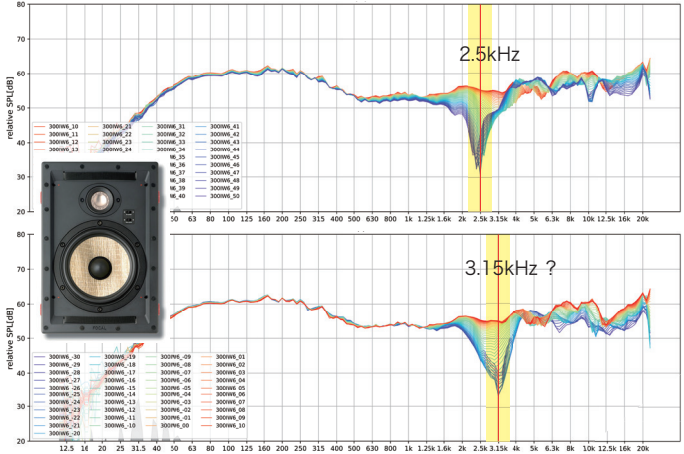
ま：300IW6を例に見てみるでげす。上のグラフを見ると、ロビングエラーの影響で軸外に行くほどディップが深くなっているから、**クロスオーバー周波数は2.5kHz**ってとこでしょうか（[図5]）。  
イケ麺：下のグラフはもう少し上の周波数にディップがありますけど・・・どっちが正解なんだろう？

り：上のグラフは0°～+40°（姿図上側の測定結果）、下のグラフは-40°～0°（姿図下側の測定結果）だね。ちなみに**同軸タイプ**の100ICW5の周波数特性はこんな感じ（[図6]）。

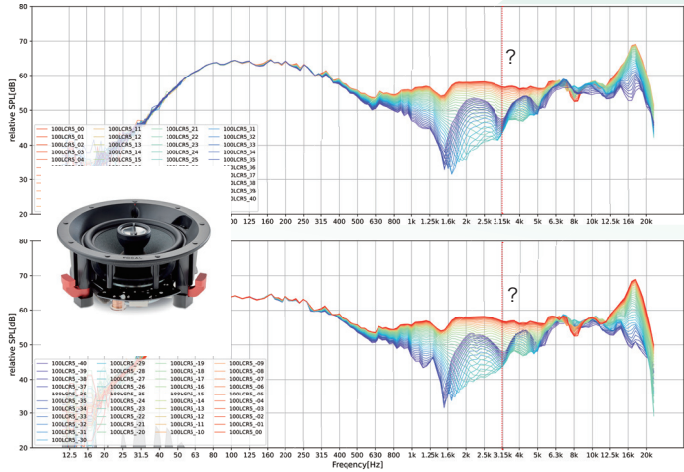
ま：こ、これは・・・。**ディップがない！**同軸だから「ユニット間の距離=d」が0でげす！クロスオーバー周波数はどこ〜？

イーデ：悩んでいても仕方ないデえ！こういうときはガンガン決めていったらいいんやデえ！

え：そうね。とっとと**ポーラパターンも見たいし**やっちゃいましょ！  
イーデ：ワテが独断で決めたものは（ ）で書いていくデえ！



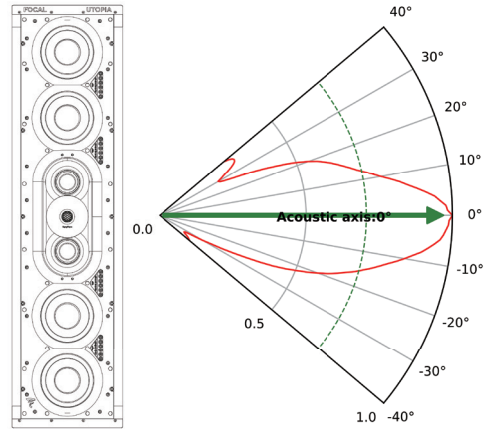
【図5】300IW6の周波数特性（上：0°～+40° 下：-40°～0°）



【図6】100ICW5の周波数特性（上：0°～+40° 下：-40°～0°）

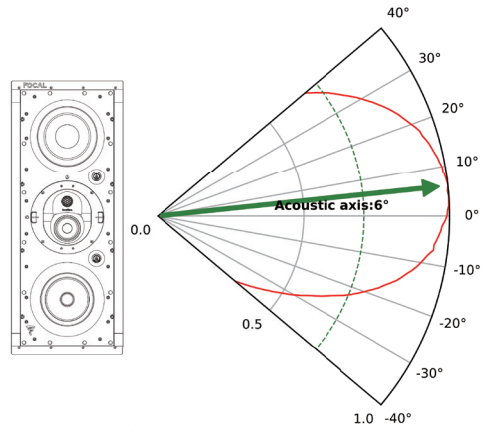
## 3way Family

1000 series



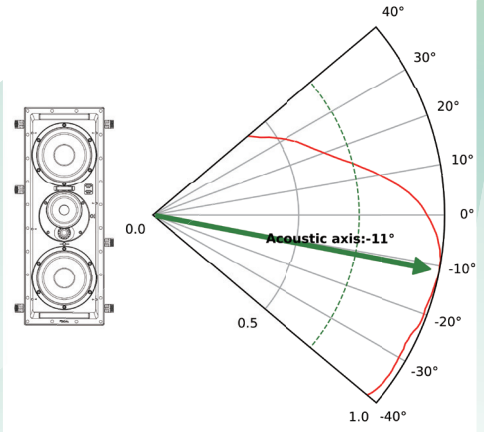
### 1000 IW LCR UTOPIA

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
2.1k	0



### 1000 IW LCR 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
2.1k	+6



### 300 IW LCR 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(2.5k)	-11

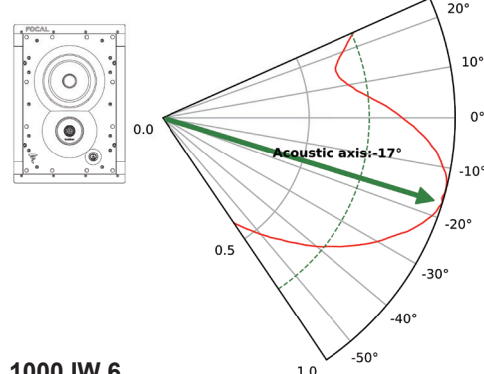
イーデ：1000 IWLCR6、1000 IW6、300 IWLCR6、300 IW6、100 IW6の結果を見ると、どれも**ツイーター側に指向特性の偏り**が見られるデえ。

Dr. 中原のいう「**有限大音源と指向性**」（[図1]）に関係があるのかも？音源が大きい方が指向特性が狭く、ウーファーの音がツイーター側に干渉してこないーツイーター側ではロビングエラーが起きにくってことでは！？



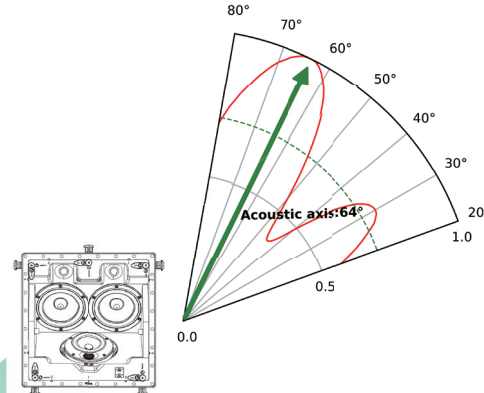
## 2way Family

1000 series



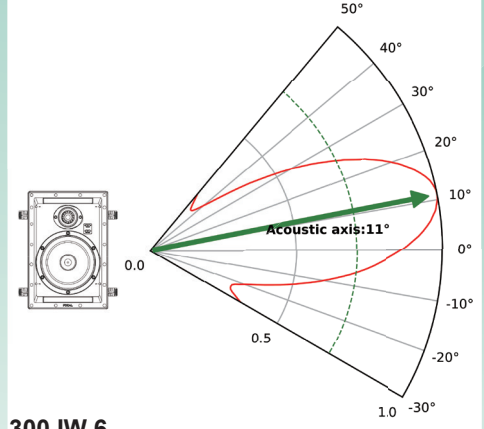
### 1000 IW 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
2.1k	-17



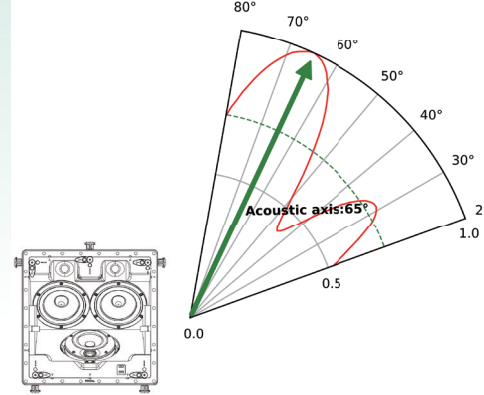
### 1000 IC LCR 5

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
3.5k	+64



### 300 IW 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(2.5k)	+11

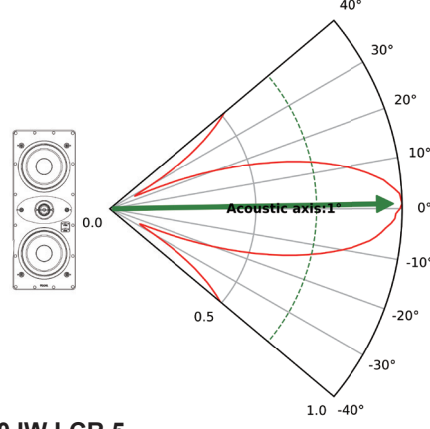


### 300 IC LCR 5

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(3.15k)	+65

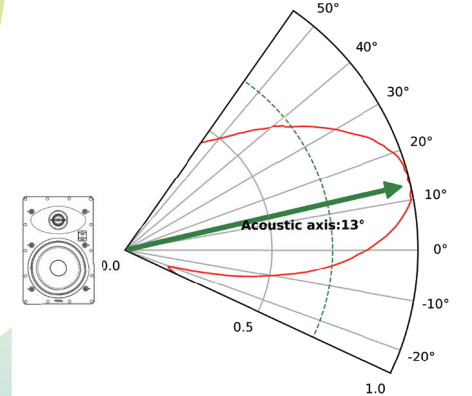
300 series

100 series



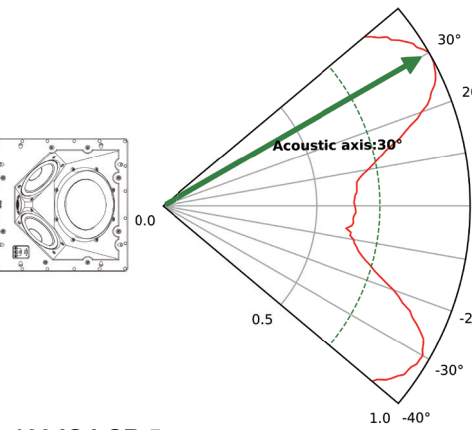
### 100 IW LCR 5

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(2.1k)	+1



### 100 IW 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(2k)	+13



### 100 IC LCR 5

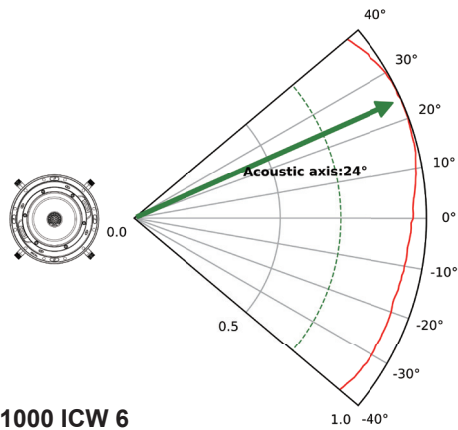
クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(3.15k)	+30



イケ麺：ドライバーユニットが「く」の字になっているモデル（1000 ICLCR5、300 ICLCR5）はポーラパターンが似ていますね。音響軸が60°近くになっているのは、天井に埋め込んだときにちょうど良い向きになるからかな？

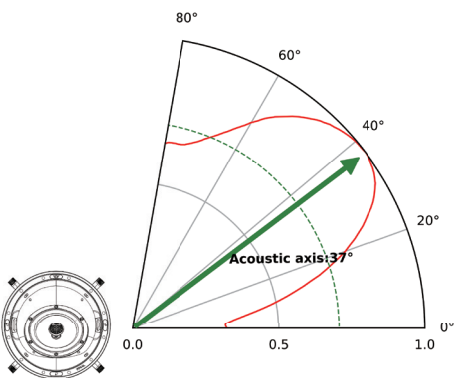
100 ICLCR5はドライバーユニットの形は似てるけど、ウーファードライバーの付き方が独特。ポーラパターンの形も傾向が違ってますね。クロスオーバー周波数の推定をミスったかなあ・・・。





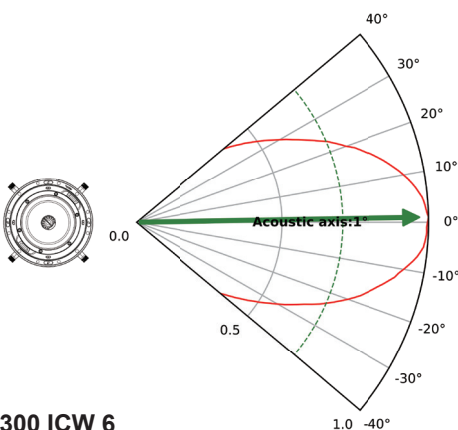
1000 ICW 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
2.6k	+24



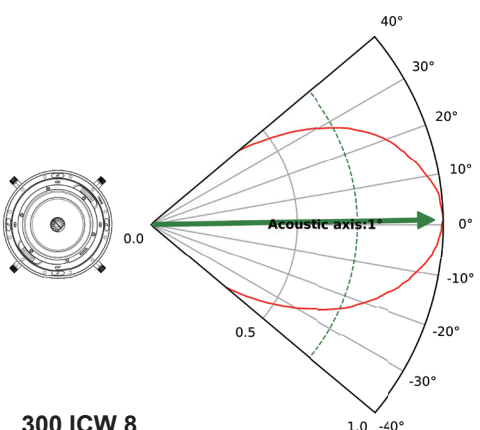
1000 ICA 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
2.6k	+37



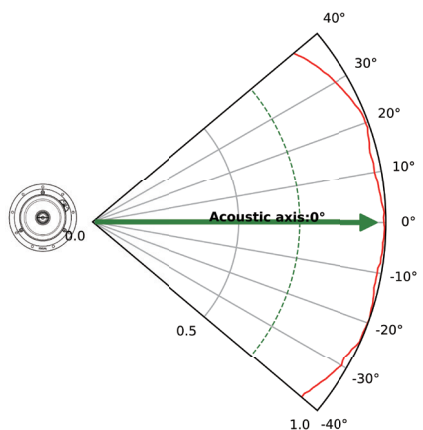
300 ICW 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(3.15k)	+1



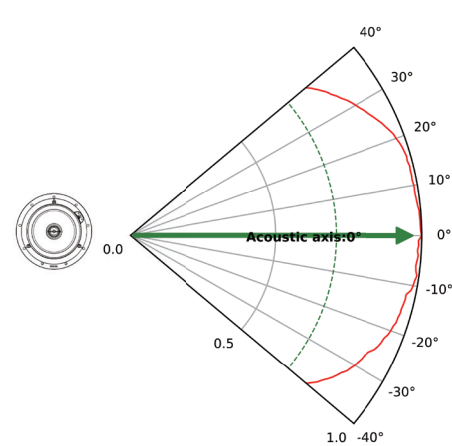
300 ICW 8

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(3.15k)	+1



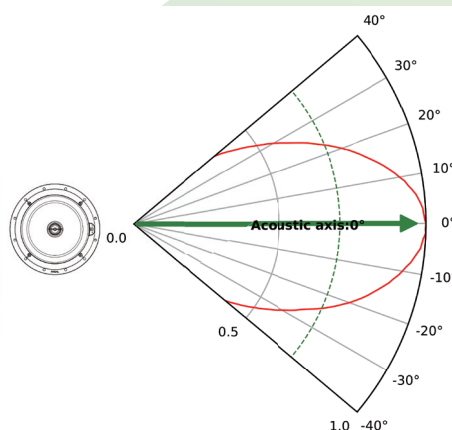
100 ICW 5

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(3.15k)	0



100 ICW 6

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(3.15k)	0



100 ICW 8

クロスオーバー周波数 [Hz]	音響軸 [°]
(3.15k)	0



ま：同軸タイプのモデルはクロスオーバーの推測が難しいですけど～！でもロビングエラーが発生しにくい傾向があるですね。

100 ICW5、100 ICW6、100ICW8 で同じ周波数のポーラーパターンを見比べるとウーファーが大きいほど指向性が狭くなっているような・・・これも「有限大音源と指向性」と関係がありそう！

り：測定に続き、ポーラーパターンの作図もおつかれさまでした！  
ま：測定方法の改良&測定点数の大幅拡大の甲斐あって、前回よりも美しい弧が描けたでげす！

イーデ：えっへん。これは描画時にスムージングをしてないやデス。細かく測定しているからこそその美しさ・・・達成感あるデス～！でも本来左右対象なポーラーパターンになるはずところがそうっていないのが悔やまれるデス・・・

イケ麺：部屋には常設のものがあつたりしたから少なからず影響はしていたのかも・・・

え：でも 1360 点測定のおかげで、Focal ファミリーの性格は少し見えてきたよね。

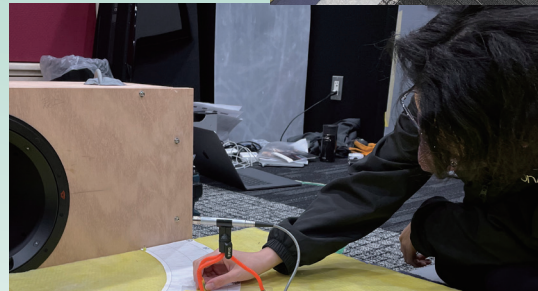
ま：「有限大音源と指向性」（【図 1】）に関連していそうな結果もいくつかあったでげす～。でも同軸タイプ 300series の 2 つは、逆にウーファが大きい 300 ICW 8 の方が指向性が広がってる？



【図 7】測定風景  
上：スピーカーの正面に悩むイケ麺隊員

右：1360 点を黙々と測るイーデ隊員

下：1° 刻みにマイクを移動するまっつん隊員



### 株式会社 ソナ（SONA Corporation）

音響計算から現場施工、そしてシステム設計やモニタ調整まで、スタジオづくりの入口から出口までを自社でまかなっている小さな工務店。防音建具、防振ゴム、音響パネル、特注スピーカ、そして音響シミュレーションや測定システムなど、スタジオをより高性能に設計施工するために重要なものは自社開発するフロンティア精神が伝統。1975 年より、レコード会社、映画会社、放送局、ポストプロダクションなどの大手スタジオや、アーティスト、クリエイターなどのパーソナル・スタジオなど、ほとんどの種類のスタジオをユーザーからの直接依頼にてつくり続けている音響工務店、ソナ。

### えりっこ隊長

株式会社ソナ 設計技術部 課長  
千葉県出身。趣味は音楽鑑賞と BBQ。分かりやすく現場がスムーズに進行できるような設計を模索しながら日々奮闘中。

### まっつん隊員

株式会社ソナ 設計技術部

茨城県出身。旅行ができないので、自宅でピアノを弾き始めました。最近は音響理論を建築に落とし込み、実現させるにはどうすれば良いか日々頭を悩ませています。

### イケイケ・イケウチ製麺隊員

株式会社ソナ 設計技術部

うどん県（香川県）出身。コロナにより里帰り出来ずどん不足です。ピアノや趣味はとりあえず中断... 一級建築士の資格勉強にすべての時間を費やします！前回と同じ文章と感ずる方... 察してください...（笑）

### イーディーデ IDE 隊員

株式会社ソナ 設計技術部

大阪府出身。ボケ担当。空気中を伝播する音（ボケ）に対して反射（ツツコミ）、拡散（ノリツツコミ）、吸音（スルー）を駆使し、均整のとれた音空間を実現する技術には定評があるスタジオ設計パタワンも3年目。

イーデ：不思議や・・・ツイーターとウーファーの大きさの比率も関係しているのかもしれないデス。

り：同軸タイプ 100series の 3 モデルは、クロスオーバーを 3.15kHz と仮定してポーラーパターンを描いてもらったけど、ウーファーの大きさ別で影響が出すぎじゃない？

イケ麺：確かに ... もしかすると実際のクロスオーバーは違う周波数ってことかもしれないですね・・・。今回はイーデ隊員が独断で決めたクロスオーバーで解析しているからな～。

イーデ：そうやなあ・・・。それに周波数特性のグラフともう少し仲良くなる必要がありそうや。

り：Focal ファミリーの性格が出揃ったところだし、ページの残りも少なくなってきたので今回はここまでかしら。

イケ麺：例の“吹き抜けのある空間”に入れるスピーカーの組合せの相性も見てみたいですね。あわよくば実際の部屋で測定できたりしたらもっと面白そうです！

え：（すごい意気込み・・・！）

それじゃあまずは今回の結果を咀嚼して、もう少しファミリーの性格を読み解くのが次回までの宿題よ！

一同：Focal さん、各モデルのクロスオーバー周波数の情報をお待ちしてます～～！

### 隊員日報

イ

1360 点の測定開始やデス。

既読

ま

考えただけで力尽きそうデス・・・。

既読

イ

1 点辺り 1 分 30 秒で、34 時間やデス。

既読

麺

今回は秘密アイテムがあるから 1 点辺り 1 分でやれるはずデスね。

既読

ま

それでも 23 時間・・・ 3 日はかかるでげす。白目

既読

<http://www.sona.co.jp>

### 中原雅考

株式会社ソナ 専務取締役 / オンフューチャー株式会社 代表取締役 / 博士（芸術工学）  
山口県出身。下関で高校時代を過ごし福岡で音響を学んだ後 1995 年に上京。「人事を尽くして天命に聴す」が座右の銘。結果よりもプロセスに価値があると思っている。音響設計に関しては、音響知識や経験からのイメージではなく、音響理論を図面上の線に直結させて形を生み出す作業が本来の設計だと考えているが、まだまだその領域には遠い。名言コーナー：自分の価値で人を責めない。一つの失敗で全て否定しない。心を見て結果を見ない。（吉田松陰）

### りっこ隊長

株式会社ソナ 設計技術部 課長  
長野県出身。趣味は散歩と読書と美術館巡り。「晴耕雨読」が座右の銘です。「理由のあるかたち」をモットーに機能を備えたデザインを探索しています。