



パーソナル・スタジオ設計の音響学 その23  
特別編「音響設計実践道場」1/1の世界で音響設計！  
～第四回 ロビングエラー～

SONA  
PERSONAL Studio Design

360から4πへ

(中原雅考)

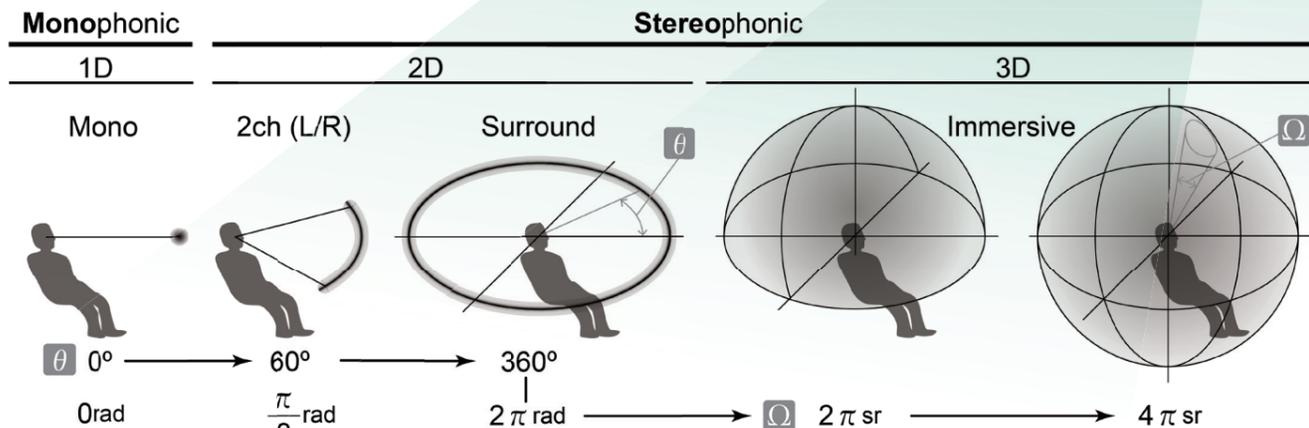
いよいよ今回から二人隊長による新時代の幕開けです。  
新隊長が下積みに励んでいた間に  
スタジオ業界もイマーシブの時代に入っています。

音響再生には「音質」と「音場」の二つの側面があります。  
どちらも究極の音響再生を目指して日進月歩ですが  
音質に関しては、ハイサンプリング、ハイビット、アナログ特性改善など  
いわばゴールの無い永遠の道のりといえるでしょう。

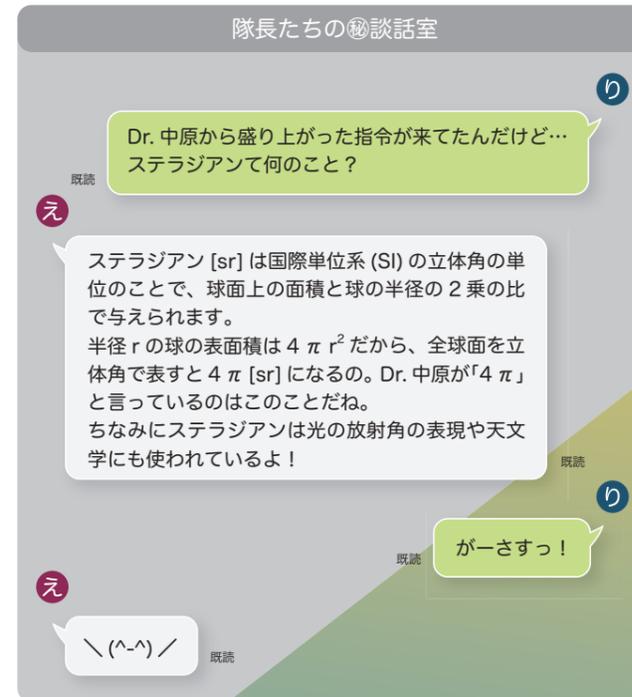
一方、音場に関しては  
モノから2チャンネルステレオ、そしてサラウンドで360°まで拡張された2D時代を経て  
いよいよ3Dのイマーシブ時代の到来です。

360°を超えた3Dの世界、<sup>ステラジアン</sup>2π srの音場が現在は汎用フォーマットとして利用できます。  
今のところ主流は2πですが、音場という点においては4πがゴールです。  
4πが目前に見えている時代の音響設計とは？  
二人の新隊長には、4π時代のスタジオ設計の世界を先導して頂きましょう。

さて、4π時代の隊員の皆さんには  
いろいろありまして…  
前々回実施した測定のやり直しからスタートということになります(合掌)。

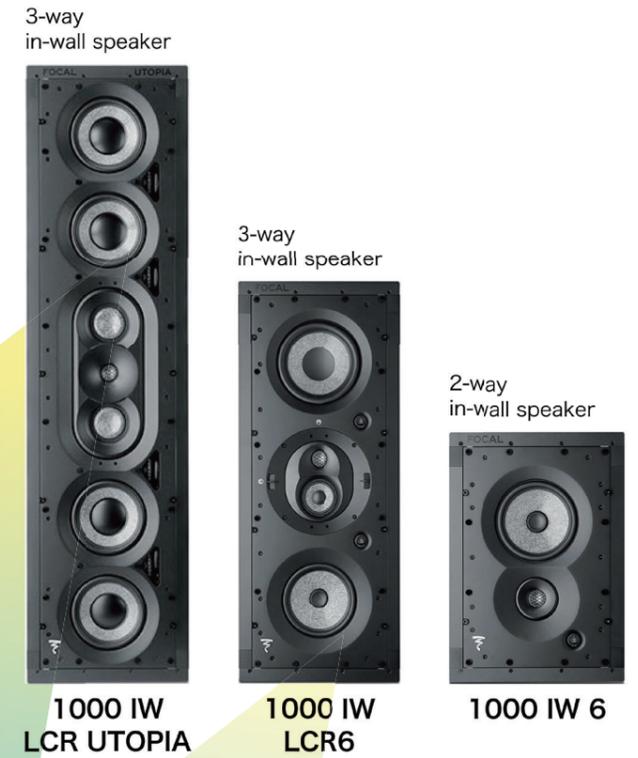


【図1】オーディオ再生の変遷と再現音場領域

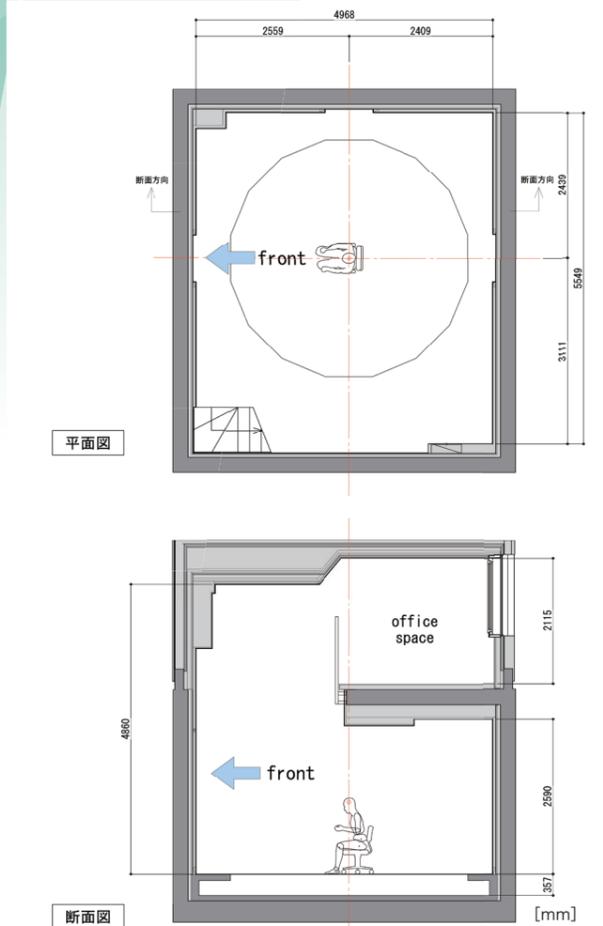


前回のロビエラ対決から早一年。いよいよ実際のスタジオにインストールすべく設計を進めるぞ！と意気込んだ矢先、なんと**新型モデルが登場**！候補はFocalの3機種です(【図2】)。隊員たちにはこれまでの測定経験を活かし、あたらしいスピーカーに立ち向かってもらうことにしましょう。今回も引き続き、実物(1/1)スケールの世界をお送りします。長引くテレワークの影響で、隊のメンバーはチャットを活用するようになったようです。

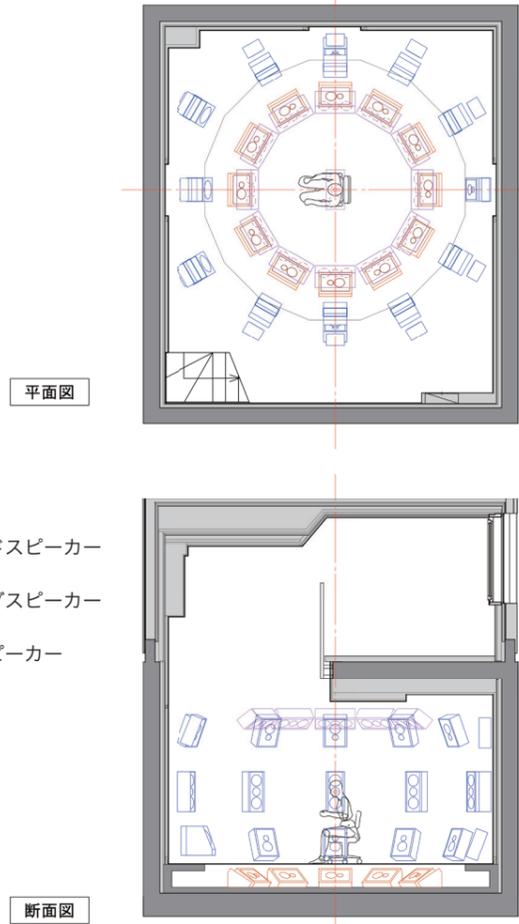
ひょんなことから昇進しちゃったりつこ隊長(以下「り」)：すっごく個性豊かなスピーカーたちだね。ところでこのスピーカーがインストールされるのってどんなスタジオだったっけ？吹抜けのある空間だったよね。  
ミカミ隊長ロスが抜けないえりっこ隊長(以下「え」)：イケ麺隊員とイーデ隊員初登場の会で、みんなでアクリル模型を作ったね。(詳しくは2019号P109を参照ね！)工事着工に向けてスタジオの設計図を描いてみたよ(【図3】)。  
り：おおー。本格的！ここに**4π再生環境を構築**するわけだね。3D再生フォーマット(Dolby Atmos、360 Reality Audio、22.2ch、Ambisonicsなど)の条件を考慮してスピーカーを配置するなら、こんな感じかなあ(【図4】)。ロビングエラー回避のために、できるだけスピーカーの顔をリスニングポイントに向けたいよね。(ロビングエラーについては2020号P78-80で復習しよう！)  
平面的にはスピーカーをリスニングポイントに向けられそうだけど、高さ方向はどうだろう。  
え：うーん・・・建築的にはスピーカーはなるべく垂直に、柱型に納めたいかな。その方が部屋を広く活用できるしすっきりするから。  
り：とすると音響軸がリスニングポイントを向かなくなるけど・・・  
どこまで傾けるのが許容範囲なんだろう。  
え：2020号のDr. 中原の講義を参考にして軸外特性のポラーパターンを予測してみようか。



【図2】FOCALのインウォールスピーカー新型モデル3機種 個性的な3モデルが出揃いました！一番左の1000 IW LCR UTOPIAは高さが1m以上あってインパクト大！



【図3】「吹抜けのある空間」の平面と断面図



青：サラウンドスピーカー  
ピンク：サラウンドスピーカー  
オレンジ：フロアスピーカー

り：OK。まずは「音源間の距離=d」を測ろう。1000 IW LCR UTOPIAと1000 IW LCR6は3wayスピーカーだから、ツイーターの中心とスクーカーの中心との距離、1000 IW6は2wayスピーカーだからツイーターの中心とウーファーの中心との距離を測るね。

え：そういえば「音源間の距離=d」が近いほどカバーエリアが広がるってDr.中原が言ってたよね。

り：今回はクロスオーバー周波数でのポラーパターンを予測するよ。3モデルともクロスオーバー周波数は2.1k [Hz]で同じだね。音響軸上での振幅値0dBに対して、ひとまず-3dB以内の特性を許容した場合・・・

え：角度はそれぞれUTOPIA (±26°)、LCR6 (±33°)、IW6 (±17.5°)だから、例えばLCR6ならリスニングポイントが音響軸から30°程度外れててもイケるってことかな (【図5】)？

り：スピーカーの顔が30°そっぽ向いてるって、ちょっと不安じゃない？予測結果を手がかりに設計をしてもいいけど、せっかく実機が手元にあることだし。

え：そうだね！さっそく若手精鋭隊員たちに検証してもらおう！

り：我々隊長は指令を出すだけか・・・感慨深いね。

え・り：(合掌)

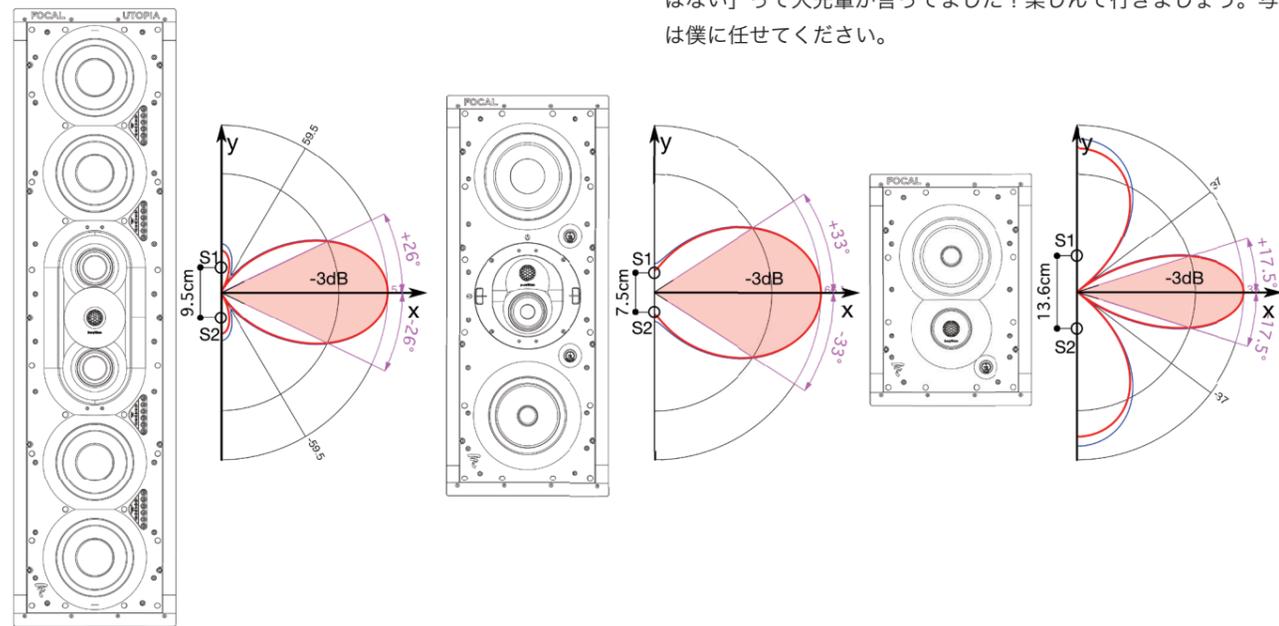
おなじみまつ先輩隊員 (以下「ま」)：アネさんたち、無茶振り加減がミカミ旧隊長に似てきたでげす。ポチっとすればパソコンが全部やってくれる予測計算と実際の測定はワケが違うんでげす！  
イーデー IDE 隊員 (以下「イーデー」)：信頼の証やデェ！そるそる特技がデモ機の手配になりそうやデェ！

ま：1°刻みの地道な測定、しかも3台分！気合い入れていってくださいよ・・・！

イーデー：3種類のスピーカーでロビエラ対決2ndやデェ！

イケイケ・イケウチ製麺隊員 (以下「イケ麺」)：「終わらない現場はない」って大先輩が言ってました！楽しんで行きましょう。写真は僕にらせてください。

【図4】4πスピーカーレイアウト案  
2Dの再生環境から3Dへ。この吹抜けのある空間では2πにとどまらず床にもスピーカーを埋め込んだ4π空間を実現しようとしているのです。

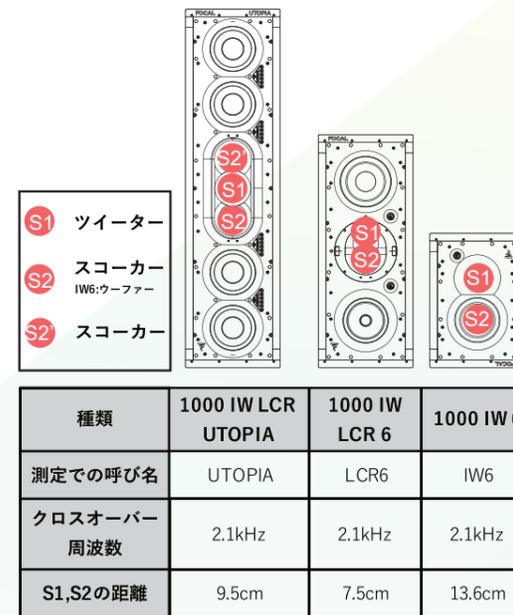


【図5】ポラーパターンの予測結果

各スピーカーのクロスオーバー周波数 (2.1kHz) における振幅値ポラーパターン (左からUTOPIA、LCR6、IW6)。  
UTOPIAはS1-S2間の距離d=9.5cmで、許容できる軸外の角度は±26°、  
LCR6はS1-S2間の距離d=7.5cmで、許容できる軸外の角度は±33°、  
IW6はS1-S2間の距離d=13.6cmで最も遠く、許容できる軸外の角度は±17.5°と最も狭くなっています。  
Dr.中原の講義通りですね！

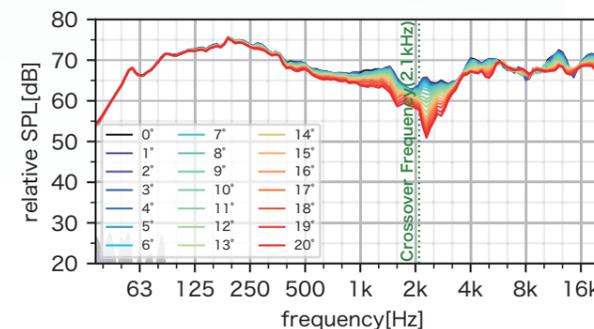
## 1. 準備編

さて、今回も前回に引き続きロビエラ対決のレポートです。アネさんたちが計算で正面から-90°~90°の範囲で滑らかなポラーパターンの曲線を描いていましたが、我々は一点一点測定した結果を線で結んでグラフにするのでこの勝負、かなり分が悪いと言えるでしょう。1°刻みで±90°を測定するのはなかなか骨が折れるので、ひとまず±20°の範囲を測定して様子を見てみることにします。スピーカーレイアウト検討のためには実用的な範囲ではないでしょうか。この範囲で1°ずつ測定するとスピーカー1台あたり測定点が41点。スピーカーが3台あるので測定点は全部で123点です。気合入れていきましょう。まずは、今回登場するスピーカーのおさらいから。



【図6】測定スピーカー情報  
(実験の都合上IW6はツイーターが上になるようにひっくり返しています。)

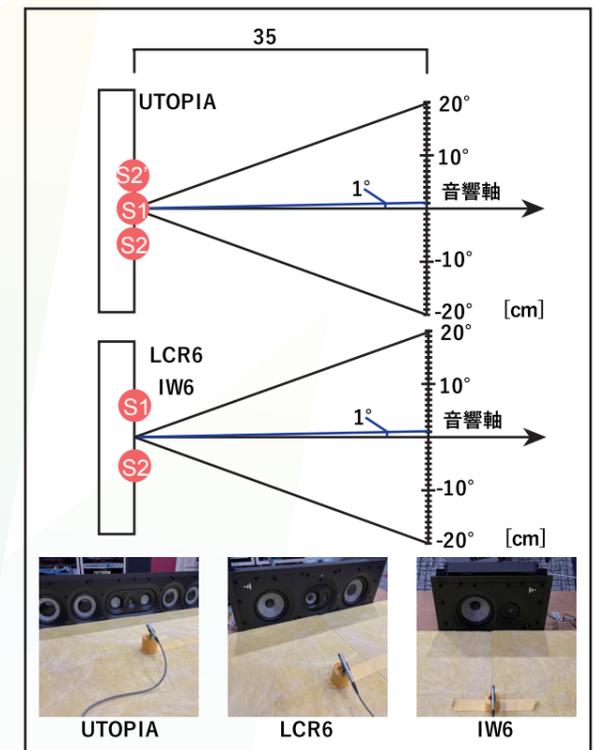
前回のロビエラ対決を振り返ると、クロスオーバー周波数近辺の帯域では2つのユニットから同じ音が再生される「音響ダブルット」状態になるので、それぞれの音が時間差でリスニングポイントに到達する様な位置関係では位相干渉が生じてディップができてしまうという事でした。今回のスピーカーではLCR6がユニット間の距離が一番短いのでロビングエラーの影響を最も受けにくく、リスニングエリアが広く確保できることが予想されます。早速測定を始めてみましょう。



## 2. 苦難の測定編

### 2-1. 測定内容

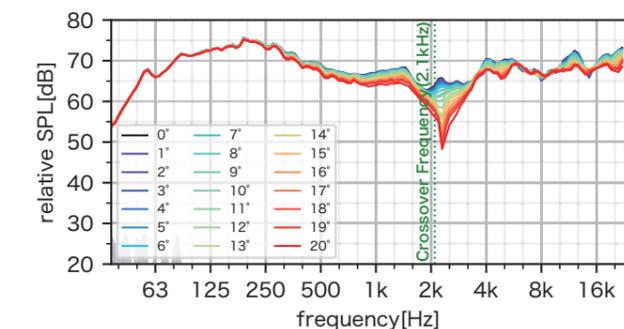
まずはスピーカーから35cmの距離でスピーカーに平行な線を引き、±20°の範囲で1°刻みの位置に印を打ってマイクを移動させていきます。【図7】や表紙の写真みたいなイメージですね。また、床反射の影響を軽減するため、グラスウールを敷いています。マイクはスピーカーの中心を向く様にセットしてインパルス応答を測定しました。早速結果をみてみましょう。



【図7】測定位置

### 2-2. 衝撃の測定結果

【図8】がUTOPIAの測定結果です。左側のグラフがスピーカー正面からS2側にマイクを動かした場合、右側のグラフがスピーカー正面からS2'側にマイクを動かした場合を表していて、青→緑→赤と色が変化するほど軸から外れた位置での特性になります。スピーカーが対称的な形なのでどちらも左右でどちらも同じ様なグラフになっていますが、いずれもクロスオーバー周波数の2.1kHz近辺 (少しずれていますが...) でディップが生じています。



【図8】UTOPIAの測定結果 (左:S2側の軸外特性、右:S2'側の軸外特性)

