

アンプに依存しないマトリックス配線スピーカー設計の試み（企画編）

OKABE, Masashi / 岡部, 雅史

(出版者 / Publisher)

法政大学多摩研究報告編集委員会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Bulletin of Hosei University at Tama / 法政大学多摩研究報告

(巻 / Volume)

38

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2023-10-30

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00030404>

アンプに依存しないマトリックス配線スピーカー設計の 試み（企画編）

岡部雅史¹⁾

Design of novel matrix speaker independent with amplifier system

Masashi OKABE

はじめに

前作の説明

2016 年および 2017 年に本誌においてマトリックス配線を利用したスピーカーシステムを報告した^(1, 2)。このマトリックスシステムではスピーカーを 3 つ配置し、センタースピーカーからは左右のステレオ音声信号が合成されたモノラル音声 ($L + R$)、左右のスピーカーからはそれぞれのチャンネル差成分（左からは $L - R$ 、右からは $R - L$ ）音声を再生するものであった（図 1）。これらの合成音声・差成分を利用したスピーカーシステムは長岡鉄男氏によって 1991 年に発表された 3 スピーカーマトリックス配線をそのまま踏襲し、設計・製作したものである⁽³⁾。発表

されたマトリックス配線図によれば、各スピーカー側にはそれぞれ左右合成音声信号、左右の差成分音声信号が伝送される。しかしアンプ側からは左右チャンネルの音声信号が短絡（ショート）した配線図となっている（図 2）。長岡氏によれば発表した 3 スピーカーマトリックス配線による設計はアンバランスアンプ（不均衡アンプ）を使用することを想定したものであると記載されている。アンバランス（不均衡）アンプとは音声信号の増幅・伝送回路の簡便化とコストダウンのために音声信号の基準点（ $-$ 接点）と本体回路の $-$ アースを同一のものとして設計製作されているものである。適切なノイズ除去回路を設定することにより音声信号回路にアースノイズ



図 1

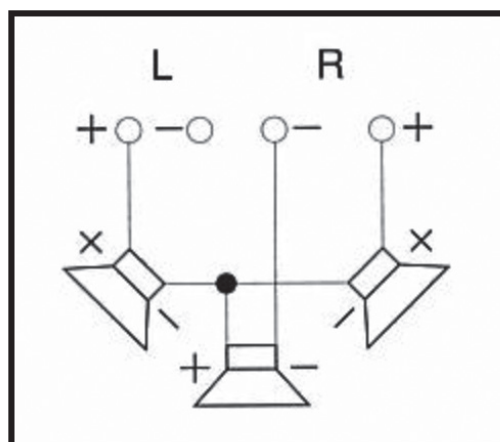


図 2

1) 法政大学経済学部



図 3

が混入することもないため、この設計は低価格帯アンプを中心に広く採用されている。筆者らによって製作された作品にて使用したアンプはデノン(PMA-390RESP (プリメインアンプ：エントリーモデル、図 3、Denon 社 HP より引用)であり、このアンプによって 3 スピーカーマトリックス再生を駆動させていた。

このモデルの回路ブロックダイアグラムを見ると上記で説明したように音声信号は左右 ch の + 極のみに入力され、- 極はボディアースへ落とされている(図 4 赤丸で囲まれた部分 図は Denon 社 HP より引用)。これは代表的なアンバランス回路であり、価格を抑え、エントリーモデルとして設計されているためと考えられる。このようにこのアンプはマトリックス配線スピーカーシステムを構築するには低価格で都合な機材であった。

ところが、前作の発表後(2017 年～)、幾人かのオーディオ愛好家より、「同様の作品を自作したいが手持ちのアンプがアンバランス回路かバランス回路か不明であるため製作をためらっている」という連絡を受けた。また、近年のアンプ機材の変化として、ア

ンプ回路の高度化によって簡便なアンバランス回路から音質重視のバランス回路へと移行した製品が増えてきているようにも感じる。同様な作品を自作する際に手持ちのアンプの回路ブロックダイアグラムなどがわかれば良いが、それが不明なままマトリックス配線によるアンプ駆動を行うと、もし、アンプ回路がバランス型であった場合、回路の故障や発熱火災など重大な事態が生じかねないため大変危険である。

そこでこの報告では、アンプの形式(バランス型・アンバランス型)にかかわらず音楽再生が可能なマトリックス配線を設計構築することを目的に論を進めようと思う。

前作の 3 スピーカーのオリジナル配線では、センタースピーカーの R + L 再生(モノラル化)は左右の + 極の音声信号を配線を接合させることによりなされている。また左右の差成分再生はそれぞれの音声信号に加え、反対側 ch の音声信号を逆配線(スピーカーの - 極に反対 ch の音声信号を入力する)することによって L-R、R-L の音声信号を再生している。このように配線の工夫(左右の音声信号の合成入力と交差入力)によってそれぞれ和信号と差信号を作り出している。このように部分的に左右 ch のスピーカー出力を短絡させ、目的の音声信号を簡便に得ることができる点がアンバランス回路をもつアンプの便利なところである。ところが、前述したようにバランス回路型アンプでは左右 ch を短絡させると故障や発熱発火の原因となるため、マトリックス配線は

禁忌とされている(3 スピーカーマトリックス配線の原案者である長岡氏によっても禁忌であることが数回にわたって指摘されている(最終の指摘は 2004 年⁽⁴⁾)。よって、電気信号を配線を介してミックス・差配分することはできない。

ではどのようにして目的の左右 ch の合成音声(モノラル化)と差成分(L-R、R-L)音声を作成するか？

空間合成による和信号と差信号の生成

複数音源から発する音声はそのそれぞれ

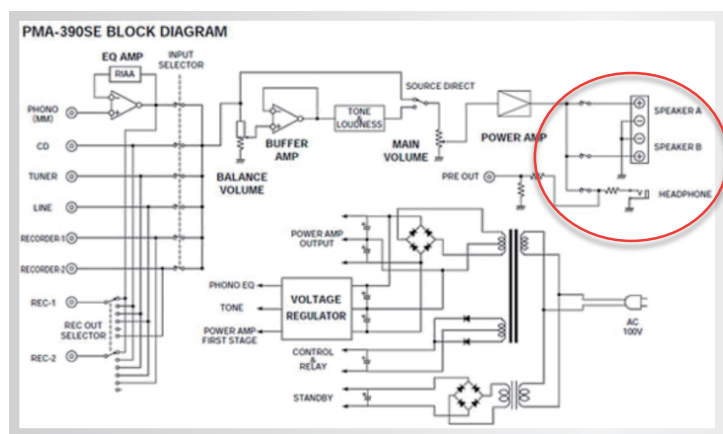


図 4

の波形が空間中を伝播する際に（音源間の距離が近接しているほど）お互いに干渉し合うこと（波の重ね合わせ：wave superposition）が物理学上よく知られている（波の干渉：wave interference）。この現象を利用し、左右 ch の和信号と差信号を作り出すことを企画した。和信号は音波の増加的干渉（constructive interference）現象を利用し、差信号は同様に減殺的干渉（destructive interference）現象を利用することとした。具体的には6つのスピーカーを準備し、センターの2つには左右 ch の信号を入力する。これによって再生音は左右 ch の和信号（L+R）として聞こえるはずである。また、左右 ch で2つずつのスピーカーには、まず各1つのスピーカーにそれぞれの ch の信号を入力し、各々もう一つのスピーカーには反対 ch の信号を逆位相で入力する。これで左の2つのスピーカからは左 ch 差信号の音声（L-R）、同様に右の2つのスピーカーからは右 ch 差信号の音声（R-L）が聞こえるはずである（セットになる2つのスピーカーの距離が近く同じ方向を向き、また、音源と聴取者の距離が数 m 以上離れていれば）。

使用したスピーカーユニット

Fostex FE103-Sol16 Ω （図5、Foster 電機 東京都昭島）を左右 ch で3つずつの計6つを使用した。

このユニットは通常の 10 cm フルレンジユニットであり、その周波数特性（F 特）から、おおよそ 60 Hz ～ 40 kHz（80 dB 以上を再生感度とした場合）にわたって使用可能な範囲と推測できた（図6、Foster 電機の製品 HP より引用）。このユニットの特徴としてユ

ニットのインピーダンス（音声信号再生時の交流回路（ボイスコイル）における抵抗値）が 16 Ω であることが挙げられる（図6 インピーダンス特性曲線）。比較参考として同社の姉妹ユニット FE103-Sol 8 Ω を載せた（図7、Foster 電機の製品 HP より引用）。通常、スピーカー製作には 8 Ω ユニットを使用することがほとんどであり、それを駆動するアンプも 8 Ω ユニットの使用を推奨していることが多い。

この報告では空間合成による和信号と差信号を作り出す必要から、片 ch あたり3つのユニットを並列に接続して使用する設計となった。インピーダンス並列合成の場合はオームの法則（Ohm's law、1781 年 Henry Cavendish（英）、1826 年 Georg Simon Ohm（独））およびキルヒホッフの第二法則（電圧則キルヒホッフの第2法則、Kirchhoff's voltage law、KVL、1845 年 Gustav Robert Kirchhoff（独））に従って計算すると、16 Ω のユニットを3つ並列に接続して使用する場合は、その合成インピーダンスは約 5.33 Ω となる。多くのアンプの駆動可能なスピーカーインピーダンスは 4 Ω 以上とされており、それを下回ると出力段のパワートランジスターに設計値以上の電流が流れ、アンプ破損の原因となる。よって、この報告で設計した合成インピーダンス 5.33 Ω はアンプの許容値以内なので使用可能となる。ちなみに 8 Ω ユニット3つで設計した場合の合成インピーダンスは 2.66 Ω となり、アンプの出力段のパワートランジスターに過大な電流が流れるため使用することができない。

以上の理由により、16 Ω ユニットを使用することとした。



図5

空間合成による和信号・差信号を作り出すスピーカー回路構成

デザインしたスピーカーの配置とアンプとの配線図を図8に示した。アンプの Lch、Rch 共に3つのスピーカーが並列に配線されており、Lch、Rch それぞれでは短絡（ショート）していないようになっている。センター部の2つのスピーカーからは左右 ch の合成音が、左右の2つ組のスピーカーの1つからはそれぞれの反対 ch の逆位相信号が再生されるようデザインした。これにより、センターからはモノラル音が、左右からは強調されたステレオ音（差成分音声）が

FE103-Sol(16)

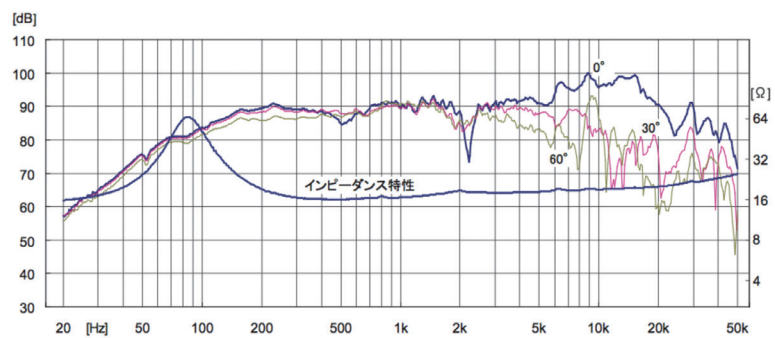


図 6

FE103-Sol(8)

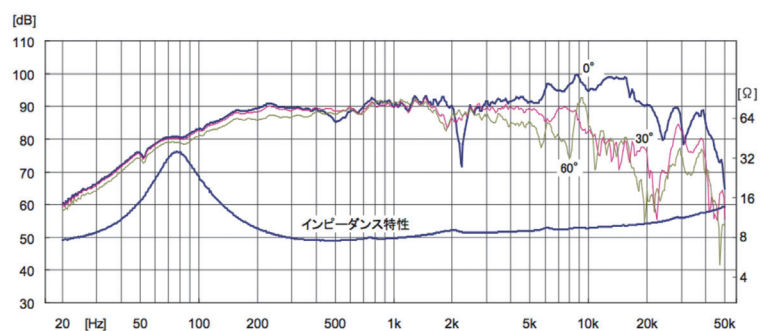


図 7

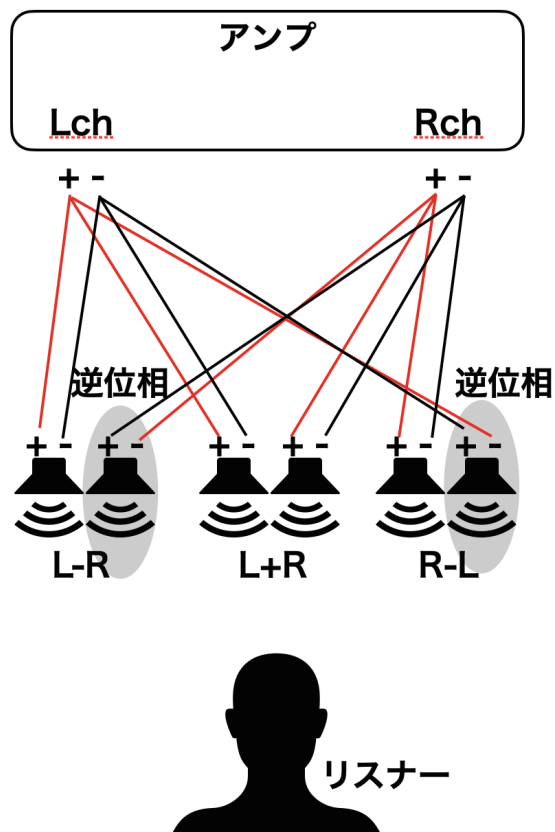


図 8

再生されることが期待できる。ただし、和信号、差信号が形成されるのは空間中を音波が伝播している間に起きる現象であるため、図8で示されるようにスピーカーとリスナーの距離が重要な因子となることが予想される。前作（図1）ではアンプ内部の回路内で電氣的に和信号・差信号が形成されているためスピーカーから再生される音声そのものが和信号・差信号となっており、音響特性はスピーカーとリスナーの距離に影響を受けない。

しかし、今回の研究企画では、空間合成によるマトリックス効果を十分に得るためにはリスナーはどのくらいのスピーカーからの距離を必要とするのだろうか？ 音速（約 340 m/s）と周波数の関係から考察すると、ヒトによって聴取される 20 Hz ～ 20 kHz の周波数の波長は 17 m ～ 1.7 cm となる。よって、スピーカーから 17 m 以上の距離を取れば最低域の 20 Hz の再生音でもヒトの耳に届くまでには空間合成がなされることになる。だが、17 m というのはあまりに非常識な距離であり、コンサートホールならともかく一般家庭の部屋では無理であろう。そこで常識的な妥協点を考えるとおよそ 100 Hz ～ 200 Hz（多くの楽曲で低音・低域と呼ばれる音域である）を目安とすると、その波長は 3.4 m ～ 1.7 m となり、この距離で空間合成がなされることが考えられる。この

程度の距離であれば通常のリスニングルームでも 100 Hz ～ 200 Hz 以上の周波数において十分なマトリックス効果（強調されたステレオ効果）を感じられることと推測している。今回の報告では前作を踏まえ、アンプを選ばない（短絡・ショート配線のない）マトリックス配線を研究企画し、材料の確保までを行なった。

次回ははいよいよ6スピーカーマトリックスをキャビネットに配置製作し、その音響特性を前作の3スピーカーマトリックスと比較分析しようと企画している。

参考文献

- 1 音場型アンサンブル平面バッフルスピーカー設計の試み 法政大学多摩研究報告 31 2016 年
- 2 音場型アンサンブル平面バッフルスピーカー設計の試み—設計と音質評価— 法政大学多摩研究報告 32 2017 年
- 3 マトリックススピーカー MX-14 の制 1991 年 7 月号 月刊 Stereo
- 4 世界でただひとつ自分だけの手作りスピーカーをつくる 長岡鉄男著 2004 年 講談社