

陸上競技用電子音式スタート装置の改善

志方 泰* 横倉 三郎**

Improvement of Starting System with Electronic Sound for Track and Field

by Yutaka SHIKATA and Saburoh YOKOKURA

1. 緒 言

近年の陸上競技界は、あらゆる部門においてエレクトロニクス機器が利用されその応用範囲は拡大し、種々の判定装置や測定器具あるいは表示機器などが開発され実用化され陸上競技会に大きな変化をもたらしている。特に最近の世界的な陸上競技会では、このエレクトロニクス化された新型機器を主体とした競技運営が重要視されている。

しかし、その陸上競技の中でのトラック競技のスタート装置は、未だに主として、拳銃や紙雷管(火薬)を使用した機械式の装置と各コースの走者に対してスタータの言葉を伝達するための拡声装置の二つの装置を使用しているのが現状である。

さらに、この方式のスタート装置の内拳銃又はそれに類似したピストル型の装置を使用した時には、スタータ(人)は各コースからほぼ等しい距離の地点に立ちスタート信号を出力する事⁽¹⁾になっているので100mの競技ではスタート装置から発生されるスタート音は競技者に伝達されるまでに約0.04秒遅れるさらに4×400mリレーの時などは約0.2秒遅れて聞えるので100分の1秒の記録を計測している時代のトラック競技の記録に大きく影響する欠点がある。そこで紙雷管を使用した電動連発式のスタート装置⁽²⁾が開発されこの欠点を解消する事が出来た。

しかし、この方式でも火薬を爆発させその音をスタート音として使用するスタート装置なのでつぎのような難点があった。即ち、

- ① 火薬を使用するため危険であり、また火薬の保管上の問題が生じていた。
- ② 使用時には一回ごとに紙雷管を交換する必要がある為面倒であった。
- ③ 温度、湿度、雨等の外的影響によって不発となることがあった。特に不発や火薬の燃焼速度が遅い時は、音量や音質が不安定となる為、選手がスタートし難い。
- ④ 記録計測装置へのスタート信号が機械式になっている為に接点が摩耗や酸化等に

* 理工学部電気工学科教授 電子情報工学

** 理工学部電気工学科副手 電子情報工学

よる経年変化のために誤動作を起こし計測ミスを起こすことがあった。(全自動電気計時のインターフェイスの遅れは、1000分の1秒以内でなければならない⁽⁴⁾)

- ⑤ 不正出発時にリコール用ピストルが発火になると、選手の疲労が増大するため勝敗、記録等の点においても重大な影響が出る恐れがある。

筆者らは、以上の欠点を解消するために、スタート音を電子的に作成した電子音にし、スピーカより出力することにより外的環境に影響されることなく使用でき、さらに、記録測定装置に送るスタート信号は、マイクロプロセッサにて動作状態を確認して出力するので精確で安定したスタート信号になる。そして、スタータ(人)の言葉も同一スピーカより出力できる拡声装置も兼ねている電子音式スタート装置を試作し⁽⁵⁾1985年三大学対抗陸上競技大会(東京学芸大学陸上競技場)及び1985年日本陸上競技選手権大会(国立競技場)100mのスタート装置として使用した。さらに1985年ユニバーシヤード神戸大会(神戸総合運動公園陸上競技場)及び1986年第41回国民体育大会(小瀬スポーツ公園陸上競技場)の陸上競技にて実用機を全面的に使用して競技が行なわれその結果⁽⁴⁾スタートに全く差し支えないとの結論が得られた。しかし、1986年第41回国民体育大会で使用したときは、スタートには問題が無いが当競技場の周囲はメインスタンドのみで三方は殆ど開放されて反響が少ないために観衆へのスタート音が小さくなり聴感上迫力を欠いた音になってしまう結果が得られた。そこで、競技場や周囲に影響されないシステムにするために、競技を行う選手には従来の電子音のシステムにより音を出力しさらに観衆用にもう一つのスピーカシステムをもうけ観衆へのスタート音を出力することにより音量の改善を行なった。それに加えて、今まで使用した従来の電子音のスタート音のデータを多少変更したことにより従来の火薬を使用したスタート装置の音に近くなった結果⁽⁵⁾が得られた。また、前年度から研究を続けている指向特性の優れた小形化したスピーカシステムの実験結果が得られ実用化の見込がついたのでここに発表する次第である。

2. 電子音の原理

人は、音を聞いて、人の声、機械の音などを音色により音の種類を判断するが、音色の内容は、どのような周波数成分の音が、どのような強さで組合わされ、どんな形で時間的に変化しているのかの総合的なもので、しかも物理測定では測りにくい程の微小な差が重大であり、その差により、人は音色を判断する事ができる。また、総合的に異なった音でもその音の周波数成分等が似ている音などは、同じ種類の音であると判断することができるので、実際の音を記録し忠実に再生することにより、録音した音と同じような音として聞くことができる。⁽⁶⁾⁽⁷⁾

しかし、陸上競技に使用されるスタート装置は、火薬を爆発させるので、スタート装置より出力される音は、音の立ち上がり特性が極端に早く、かつ音響出力も非常に大きい、さらに、その音の音圧の減衰も非常に早い、従って、このスタータ装置から出力された音をそのまま録音して、スピーカより出力すると、スピーカの立ち上がり特性が悪く、かつスピーカの出し得る音響出力が小さい為、スピーカより出力する音は、ピストル音等のスタータ装置の音とは似ていない、一般に「ポコン」という音として聞こえるために、拳銃や紙雷管を使用したスタート装置のスタート音である火薬の爆発音をそのまま録音し、そのデータを再生して使用しても実用にならない。

そこで、立ち上がり特性が悪く、さらに、尖頭音響出力の小さいスピーカを使用して、

スタート音を出力するには、火薬を爆発させるピストル音やシンセサイザ等により同じ周波数成分を有する音を作りさらにその音を長い時間重ね合わせながら減衰させることで原音に残響を加えた形ちになる。そして、その残響効果により作り出された音源をスピーカより出力することにより出力された音が火薬の爆発音に比べ尖頭音響出力が少ない音響出力ではあるが波形全体の積分値を大きくしているのので、人の耳には大きな音として聞くことができる。また、この音の周波数成分は、火薬の爆発音の周波数成分と同じような成分となるため音色も火薬の爆発音として聞こえる。以上の理由から火薬の爆発音の解析をするには、火薬の爆発音の波形から自己相関関数を求め、さらに、その値をフーリエ変換することにより、パワースペクトルを算出する。

自己相関関数は、

$$\rho(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T}^T f(t) f(t+\tau) dt \quad \dots\dots(1-1)$$

である。更に、パワースペクトルを求めるためのフーリエ変換は、

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad \dots\dots(1-2)$$

となる。サンプリング開始時を 0 とすると (1-2) 式は、

$$F(\omega) = \int_0^{\infty} \rho(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad \dots\dots(1-3)$$

となる。

さらに、実際のスタート装置から出力される火薬の爆発音は、図1のように立ち上がり鋭いため、 $\Delta t = 0$ とする。また、記録時間は有限なので、最大記録時間を T_m とすると $\rho(\tau)$ は、 $\tau = 0$ を原点とすると偶関数であるから (1-3) 式は、

$$F(\omega) \doteq \int_0^{T_m} \rho(\tau) \cos \omega\tau d\tau \quad \dots\dots(1-4)$$

となる、この式を使用することにより原音のパワースペクトルの値が算出できる、この結果より火薬の爆発音の原音に近似した音を作ることができる。

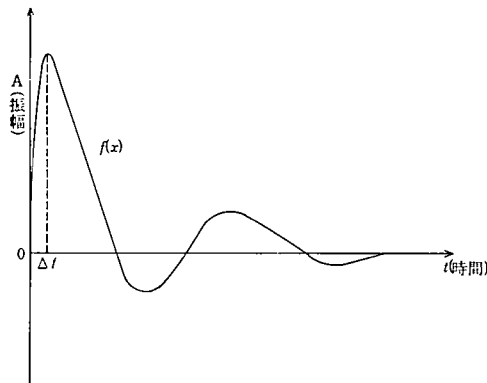


図1 火薬の爆発音

次に、残響のない音に残響を付けるには、大きく分けて二つの方法が考えられる。一つの方法は、デジタル化された音のデータを計算上で、ランダムに繰り返す、さらに、

エクスポネンシャルカーブで減衰させる方法である。また、この減衰特性は音の立上がり特性が良く聞える特性である。そして、もう一つの方法は、残響のない音を残響装置に入力し、その残響装置からでる残響を記録する方法である。この方法にも三種類の方法があり、スプリングエコーやディレー素子を利用した一次元の装置、残響板を利用した二次元の装置、残響室を利用した三次元の装置とがある。今回は、一番ピストル音に近い音色となると考えられる三次元の残響音を作り出すために室の残響を利用して、スタート音を作り出している。さらに、残響を付けたスタート音は、A/D コンバータを利用しデジタル信号に変換され、そのデータを記憶装置に入れることにより、このデータを残響時間や減衰特性を自由に補正することも出来る。以上の方法によりできたスタート音の音源のデータを電子音式スタート装置のメモリーに入れD/A コンバータにて変換しそのアナログ信号を増幅しスピーカより出力することにより電子音式スタート装置のスタート音としている。さらに、本装置は、各回路の制御をマイクロプロセッサを利用して、ソフトウェアによる制御を行なわせて各回路の動作の信頼性を高めることにより安定したスタート装置として使用できるようにしている。

3. スピーカシステムの原理

火薬の爆発音であるスタート音を電子音化するには、作成された電気信号を音として再生する為のスピーカも重要なポイントである。そして、このスピーカの指向特性は 270 度位でなければ周囲の観衆への音の良好な伝達ができない。

スピーカには、振動板を直接大気と結合して音を空気中に直接放射するコーンスピーカとドライバーユニットにホーンを結合して音を放射するホーンスピーカの 2 種類に分けられる。さらに、この 2 種類のスピーカにはそれぞれの特徴がある。

直接放射型のコーンスピーカは、構造が簡単で小型でありそのうえ比較的一定な周波数レスポンスをもっている。しかし、このスピーカは放射抵抗が小さいために変換能率が悪く一般的には数パーセント位である。しかし、ホーンスピーカはドライバーユニットにホーンを付けて、広い周波数帯域について能率良く音響放射を行なえるように放射インピーダンスとドライバー振動系のインピーダンスの整合をはかったものでありその変換能率はコーンスピーカよりも高く 10 から 40 パーセントにも達しており大きな音響出力が必要な屋外拡声装置などで広く用いられている。しかし、ホーンスピーカはコーンスピーカに比べ形状が大きくなる事や指向性が強いのが欠点である。

今回使用するスタート装置では使用する場所が陸上競技場である為に形状はあまり問題にはならないが、大きい音響出力が必要なために変換能率の良いホーンスピーカの方が有利である。しかし、スタート音を観衆へ聞かせるにはホーンスピーカの持つ指向性が強い欠点を解消しなければ実用にはならない。つまり、変換能率の良いホーンスピーカを使用してその強い指向性を改良するにはホーンの先に音響レンズやディフューザを取り付けて指向性の改善を行なっているが、この方式で指向特性の改善できるのは 120 度位である。

さらに、指向特性を改善するには、複数のホーンスピーカで作る方法があるが複数のホーンスピーカで作成しても出来たシステムはでは取扱い上の問題がありまたコーンスピーカーでは更に大型になり取扱い上不便である。そのため、複数のホーンを用いて開口部が球面状になるように配置したり、1つのホーンの内部を分割しその開口面を扇状ま

たは球面上に作られたマルチセラーホーンが考えられる。しかし、その方法で指向特性の優れたホーンスピーカを作るには、ホーンの構造が複雑になり製作上の誤差により特性が大きく変化してしまい実用上不便である。筆者らはこれらの不便さを解消する目的で音源の必要最低周波数でのホーン内部の音響インピーダンスがほぼ0となる位置から先にセパレータを取り付けることにより指向特性の優れたスピーカシステムを考案した。このときのホーン内部に取り付けられたセパレータによるホーン内部の音響インピーダンスが影響されると思われるがセパレータが取り付けられている部分の音響インピーダンスは自由空間とほぼ等しくなっているのでホーン内部での負荷とはならず取り付けられたセパレータによる影響は無いと考えられる。以上の理由でホーン的设计をする。

エクスポネンシャルホーンは喉口の面積を S_0 とすれば喉口の断面を軸に沿って測った距離の関数としてあらわすと

$$S_x = S_0 e^{mx} \quad \dots\dots(2-1)$$

m はホーンの拡がり係数

のように指数関数的に拡がっているホーンである。

エクスポネンシャルホーンのホーンのなかの音波の一般式は、 $\phi = \sqrt{2} \phi e^{j\omega t}$ とすると

$$\left(\frac{d^2}{dx^2} + m \frac{d}{dx} + k^2 \right) \phi = 0 \quad \dots\dots(2-2)$$

で表されている。この時のホーンのなかの音圧 \dot{P} 、粒子速度 \dot{V} 、 X の正方向に伝搬する場合の音響インピーダンス Z_0 は、

$$\dot{P} = j\omega\rho_0\dot{\phi} = j\omega\rho_0 A e^{-\left(\frac{m}{2} + j\sqrt{k^2 - \frac{m^2}{4}}\right)x} \quad [\text{newton/m}^2] \quad \dots\dots(2-3)$$

$$\dot{V} = \frac{d\phi}{dx} = A \left(\frac{m}{2} + j\sqrt{k^2 - \frac{m^2}{4}} \right) e^{-\left(\frac{m}{2} + j\sqrt{k^2 - \frac{m^2}{4}}\right)x} \quad [\text{m/sec}] \quad \dots\dots(2-4)$$

$$z_0 = \frac{\dot{P}}{\dot{V}} = \rho_0 c \left(\sqrt{1 - \frac{m^2}{4k^2}} + j \frac{m}{2k} \right) \quad [\text{newton} \cdot \text{sec/m}^3] \quad \dots\dots(2-5)$$

A : 複素定数

ρ_0 = 空気の密度 [kg/m³]

c = 音速 [m/sec]

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$m = \frac{2\omega}{c}$$

となり、ホーンの音響インピーダンスの実数部と虚数部は、

$$R = \frac{\rho_0 c}{S_0} \sqrt{1 - \frac{m^2}{4k^2}} \quad [\text{newton} \cdot \text{set/m}^5] \quad \dots\dots(2-6)$$

$$X = \frac{\rho_0 c}{S_0} \frac{m}{2k} \quad [\text{newton} \cdot \text{set/m}^5] \quad \dots\dots(2-7)$$

となる、この時 $m = 2k$ あるいは $4\pi f = mc$ のとき音響インピーダンスは実数部が0となり虚数部だけのリアクタンスだけとなりその値は

$$X = \frac{\rho_0 c}{S_0} \left(\frac{m}{2k} - \sqrt{1 - \frac{m^2}{4k^2}} \right) \quad \dots\dots(2-8)$$

となる。さらに、この時の周波数を遮断周波数といい

$$f_c = \frac{mC}{4\pi} \quad \dots\dots(2-9)$$

で表す。また、この周波数以下ではホーンを通してパワーは放射されない。

ゆえに、この遮断波数の位置より先に音を拡げる為のセパレータを付けることにより指向特性の優れたホーンができる。(無限長エクスポネンシャルホーンの音響インピーダンスの特性を図2に示す。)

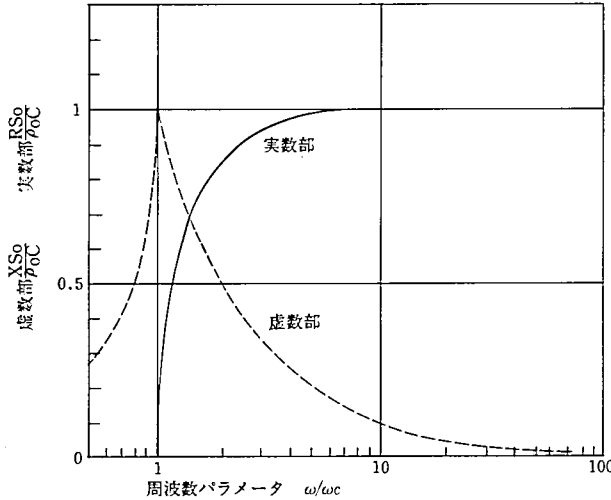


図2 ホーンの喉口での音響インピーダンスの周波数特性

4. ホーン及びセパレータの設計⁽⁶⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

本装置で使用するホーンは構造が簡単であり製作が容易に行なえる断面が角形になっているエクスポネンシャルホーンである。また、ドライバーユニットは一般に市販されていふる物を使用するためドライバーユニットの喉口の断面は円形なのでドライバーユニットの先に角形の断面になる変換器を取り付けその先に今回製作するホーンを取り付ける。そこで、ホーンを設計するには、ホーン的设计に必要なパラメータである遮断周波数 f_c を200Hzに設定し普通の角形ホーンの計算をすることによりホーンの形状を求めると角形変換器の一辺の長さを l_0 としホーンの断面の一辺の長さを l_x とすると(2-1)式より

$$l_x = l_0 e^{mx} \quad \dots\dots(3-1)$$

$$l_x = 0.035(m)$$

となる。また、この時の拡がり係数 m は(2-9)式より

$$m = 4\pi f_c / c = 7.137$$

c : 音速(m)

となる。以上の計算により角形エクスポネンシャルホーン形状を求めるとホーンの喉口から開口部までの距離が約0.9mで開口部の断面の一辺の長さは約0.86mとなる。更に、このホーンの先にセパレータを取り付けると更に大型化してしまい取り扱いが不便にな

り実用化ができないのでホーンの断面の一边の長さが約0.25mの所で切断することにより遮断周波数の違ったホーンができる。また、この時喉口への反射波が十分小さくなる開口部の一边の長さは遮断周波数の波長の約1/3になることから遮断周波数は約460Hzとなり920Hz以上で使用できる。そして、この周波数はピストル音の主なスペクトル成分よりも低い周波数になる為に電子音式スタート装置のホーンとして十分実用になる。さらに、このホーンの手からは自由空間として見なせるのでその位置から先にセパレータを取り付けがホーンの喉口での音響密度は自由空間に比べまだ大きいのでこのセパレータも音の進方向に対してエクスポネンシャルホーンと同様に断面の面積が変化した方がよい。

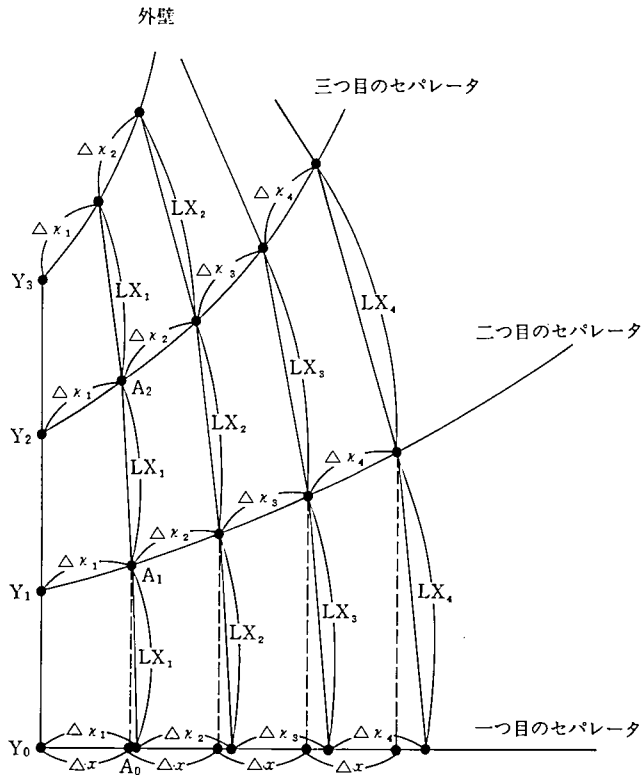


図3 セパレータの計算

セパレータを設計するにあたりセパレータの断面の高さは一定にしておく事によりセパレータの開口部の拡がりはおおきくなるので指向性を拡げるのに有効である。そこで、セパレータの高さを一定と考えセパレータを設計する。図3に示す一つ目のセパレータをX軸に沿った物にする二つ目のセパレータは $f(x) = 1_0 e^{mx}$ の関数で表せる。しかし、この時のセパレータの中の音の進み方は自由空間と見なすことにより球面波として音は進みこの時の音の位相はセパレータに沿っての壁面距離の長さが等しい所で同位相になるために関数 $f(x)$ を基準として考えこの微小距離 Δx 進んだ位置を A_1 に対しX軸に沿って Δx 進んだ A_0 の点と同位相になる。さらに、この時の A_1 と A_0 のとの距離をLXと

すると A_1 を中心とした半径 LX と次のセパレータの原点となる Y_2 を中心とした半径 Δx の交点 A_2 が同位相と見なすことができる。さらに、 A_2 を原点として同様の方法により次のセパレータの同位相面が求まりこの方式により次々と交点を求めることでセパレータの形が求められる。そして、この時の Δx を求めるには、一つ目のセパレータの関数である $f(x)=1_0e^{mx}$ の線積分の値を求めることにより得られるので

$$\Delta x = \int_0^{\Delta x} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \quad \dots\dots(3-3)$$

となり、その解は

$$\Delta x = \left[\frac{1}{m} \left\{ \sqrt{1 + (1_0m)^2 e^{2mx}} + \frac{1}{2} \ln \left| \frac{\sqrt{1 + (1_0m)^2 e^{2mx}} - 1}{\sqrt{1 + (1_0m)^2 e^{2mx}} + 1} \right| \right\} \right]_0^{\Delta x} \quad \dots\dots(3-4)$$

となり、 X 軸にたいし ΔX 移動した時の Δk が求められる。さらに、この時の LX はのあたいは

$$LX = \sqrt{(\Delta x - \Delta x)^2 + (1_0e^{mx})^2} \quad \dots\dots(3-5)$$

で求められる。次のセパレータの位置 A_2 は点 A_1 を中心とした半径 LX と Y_2 を中心とした半径 Δx の交点で求められるので各原点を (X_1, Y_1) 及び (X_2, Y_2) の座標で表すと

$$LX^2 = (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 \quad \dots\dots(3-6)$$

$$\Delta x^2 = (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 \quad \dots\dots(3-7)$$

の二式から

$$\Delta x^2 = (X - X_2)^2 + (\sqrt{LX^2 - (X - X_1)^2} + Y_1 - Y_2)^2 \quad \dots\dots(3-8)$$

で求められ、その解は

$$A = 4\{(X_2 - X_1)^2 + (Y_1 - Y_2)^2\}$$

$$B = 4\{2(Y_1 - Y_2)[-X_1(Y_1 - Y_2) - Y_1(X_2 - X_1)] + (X_1 - X_2)(LX^2 - X_1^2 - Y_1^2 - \Delta x^2 + X_2^2 + Y_2^2)\}$$

$$C = (LX^4 + X_1^4 + Y_1^4 + \Delta x^4 + X_2^4 + Y_2^4) - 2LX^2(X_1^2 + Y_1^2 + \Delta x^2) + 2X_1^2(Y_1^2 - Y_2^2 + \Delta x^2) + 2Y_1^2(\Delta x^2 - X_2^2 - Y_2^2) + 2X_2^2(LX^2 - X_1^2 - \Delta x^2) + 2Y_2^2(LX^2 - \Delta x^2 + X_2^2) + 4(Y_2 - Y_1)\{(Y_2 - Y_1)(X_1^2 + Y_1^2 - LX^2)\} - Y_1(LX^2 + X_2^2 + Y_2^2 - \Delta x^2 - X_1^2 - Y_1^2)\}$$

とすると

$$AX^2 + BX + C = 0$$

である。この解より次々と交点を求めその軌跡をとることによりセパレータの形が求められる。しかし、この方法により求められるのはセパレータの 1, 2, 3 と一番外側の管壁の一部だけである。この管壁の座標の軌跡は面積がエクスポネンシャルに増えるので最大点より逆に戻る格好になる為に最初の軌跡の外伸で求める。以上の計算結果よりセパレータを取り付けたホーンを設計する。また、セパレータの開口部は等位相面で切断する事により開口部の位相を整え出力する事が出来るので計算結果よりホーンとセパレータの作図をすると図 4 に示した形状になる。しかし、図 4 の様な形では X 軸方向に長くなるので取扱いが不便なために喉口からセパレータ近い部分を曲げる事により図 5 の様な形になり取り扱い易く十分実用になる形となった。

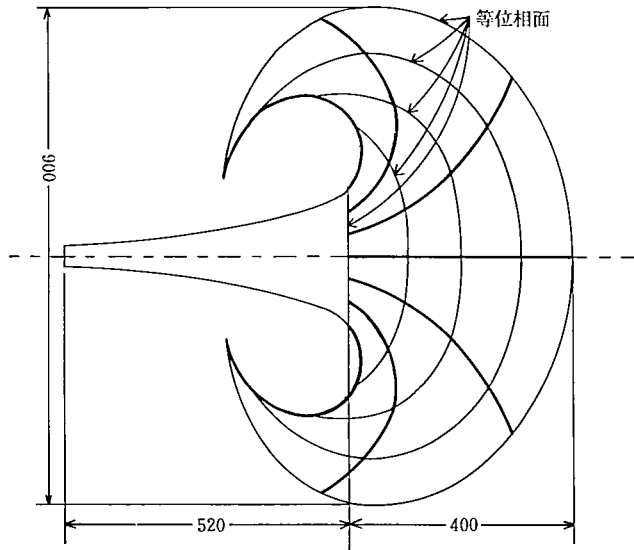


図4 上から見たホーンの形

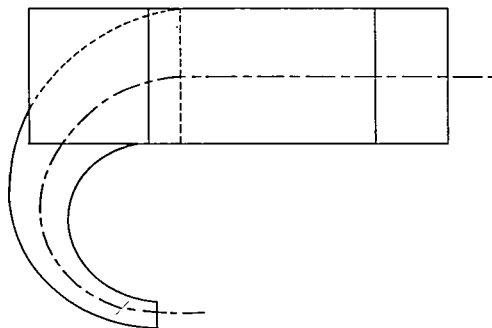


図5 横から見たホーンの形

5. 回路構成及び動作⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾

本装置の回路構成は、ブロック図として図6に示した通りである。装置の動作は、選手がスタートラインにつくと、「位置に着いて」、「用意」というスタート(人)の音声がマイクを経て装置に入力され増幅器にて増幅され、スピーカより選手に拡声する。

スタート(人)がピストルのスイッチを押すと装置内のマイクロプロセッサ(MPU)は、スタート音を出力すると判断し計測装置等へ送るスタート信号用リレーの状態およびドライブ回路をチェックする。次に、異常がない時は、スタート信号のリレードライブ回路及びストロボ発光用ドライブ回路にI/O(入出力用インターフェース回路)から信号を送り動作させる。さらに、スタート信号のリレー及びドライブ回路が正しく動作したか、動作チェックする。以上の動作を行ない、スタート信号用リレーが、正常に動

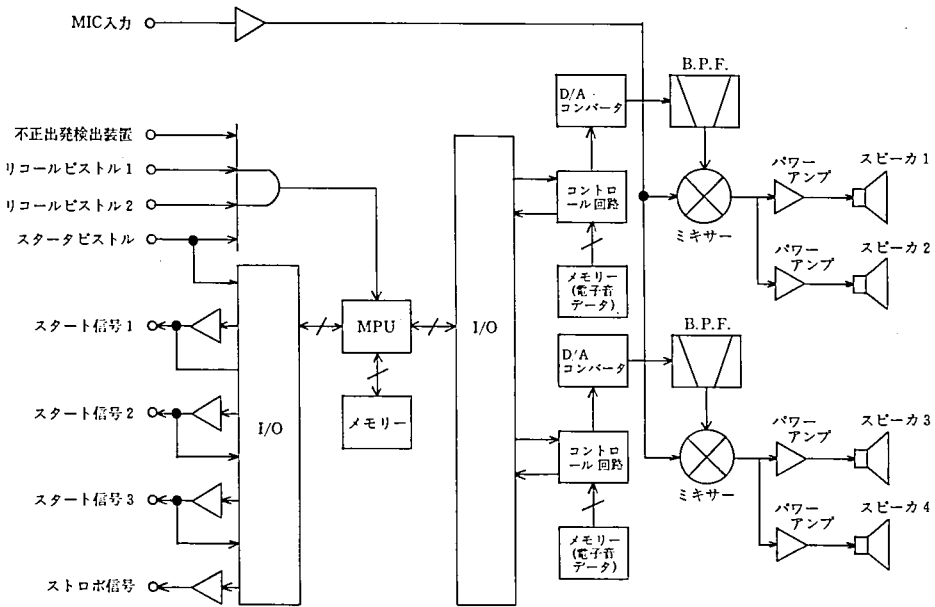


図6 ブロック図

作しない時は、MPUがI/Oを通し、READYランプを点滅させ、スタート信号回路の異常を表示し、本装置のつぎの動作を止める。また、動作が正常に行なわれた場合には、MPUはI/Oを通し、電子音発生回路にスタート信号を送る。スタート信号を受けた制御回路は各D/A(デジタル/アナログ)変換器に、16KHzの同期にて各メモリー内にある電子音のデータを送り出す。さらに、D/A変換器は、このデジタル信号をアナログ信号に変換し、ローパスフィルタに送り不用成分を取り除き、その信号を低周波増幅器で増幅させてスピーカよりスタート音として、出力する。また、スタート信号を出力すると同時に、スタータ(小)のピストル、リコールスタータ(人)のピストルと不正出発検出装置からの信号入力を可能にし、信号が入力されることにより、リコール音を再度、スピーカより出力することを可能にしている。また、このリコール音は、スタート信号が出力されてから0.3秒(変更可能)以内にリコール信号が入力された時には、スタート音から0.3秒(変更可能)後に、0.3(変更可能)乃至5秒間にリコール信号の入力された時には、入力と同時にリコール音を出力する。次に、スタート信号から5秒間は、リコール信号の入力待ちになるが、スタート信号から5秒後には初期状態になりスタータ(人)のピストルからの信号待ちとなり、再度使用できるようになる。また、リコール信号は、一度だけ受け付けるために、何度もリコール音を出してしまうことがないようにコントロールしている。

6. 実験結果

今回試作したスピーカシステムの周波数特性を図7に示す。このグラフから150Hzから8KHzまでの特性を見ると最大値と最小値の差が約20dB程度あり従来のホーンスピーカと比べると良くないと思われるが音質を問題としないスタート音なので実用上問

題のない特性といえる。また、この周波数特性の悪いのは小型化する為にホーンの途中で切断し喉口に近い位置からセパレータを付けたことによる内部での反射波による変換能率の影響によるものである。さらに、昨年度試作したスピーカシステムと今年度試作したスピーカシステムの指向特性を図8に示す。このグラフより今回試作したスピーカシステムが無指向性に近くなり小型化したスピーカシステムを使用して本大学のグラウンドにて実験したところ従来のシステムに比べグラウンドのどの位置からでも良く聞こえる結果が得られたので陸上競技場の構造に影響すること無く観衆へのスタート音を

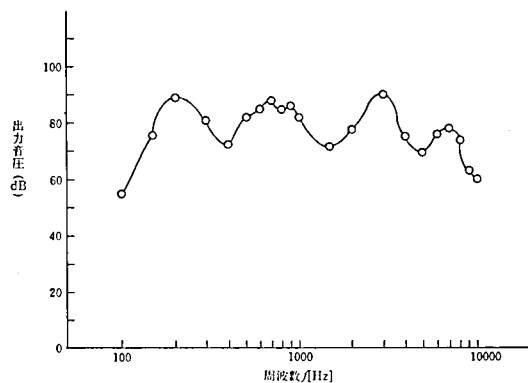


図7 ホーンスピーカの周波数特性

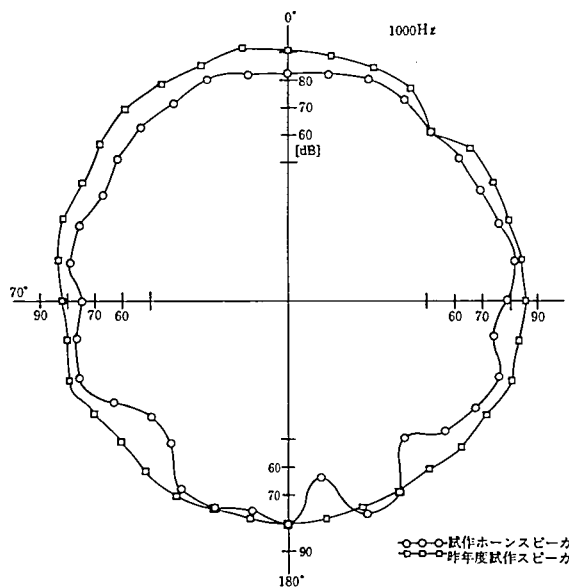


図8 指向特性

聞かすことが出来るスピーカシステムと思われる。昨年度試作したスピーカシステムと今年度試作したスピーカシステムの写真を写真1, 2に示す。

電子音の音質についての結果は、昨年度試作したスピーカシステムに比べ低域での音量が得られないので若干迫力が無くなるが従来の電子音に比べ高域のスペクトル成分を少なくしたこ事により金属的な音がだいぶ軽減されたことにより違和感も少なくなった。

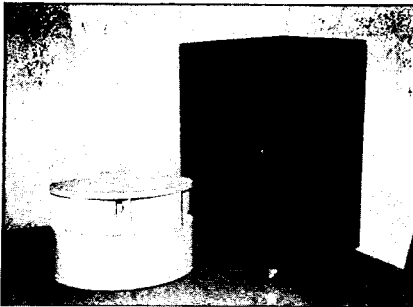


写真1

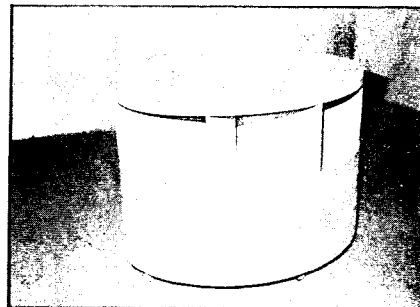


写真2

7. 結言, 謝辞

今までのスピーカシステムに比べ指向特性の改善が計られた事により周囲に影響無くスタート音が聞えるようになりスタート音の音質を改善した事により火薬を爆発させたスタート音に近くなり陸上競技の大会においても十分に使用できる見通しがついたと思われる。さらに、共同研究者でもある本学体育学科野崎忠信教授(日本陸上競技連盟審判委員会委員)の評でも十分実用になると解答が得られた。今後の課題として音感を更に近づけスピーカシステムを更に小型にするため低周波領域のみハーモニクスを発生させ音源の基本周波数を除いても聴感上低音部再生を行なう事実を利用する。音源としてピストル音に残響を付加して用いることなどが考えられるので改良を試みる所存である。さらに、本装置と現在考案中である不正発検出装置を連動して電子音を利用した総合的なスタートシステムとしたい。

末尾ながら、本研究は文部省科学研究費補助金一般研究(C)課題番号61580119及び明星大学教員特別研究助成費により実施された。明星大学児玉三夫学長及び実験に協力された卒研生に深謝する次第である。

参考文献

- 1) 陸上競技ルールブック '88 日本陸上競技連盟
- 2) 野崎: 陸上競技用スタート信号装置における開発の経緯について 明星大学研究紀要 人文学部 第24号 昭和63年
- 3) 志方, 横倉: 陸上競技用電子音式スタート装置の試作 明星大学研究紀要 理工学部 第22号 昭和61年
- 4) 志方, 横倉: 陸上競技用電子音式スタート装置について 昭和62年 電気学会 1510

- 5) 志方, 横倉: 陸上競技用電子音式スタート装置の改良 昭和 63 年 電気学会 23
- 6) 早坂: 音響工学入門 日刊工業新聞社 昭和 53 年
- 7) 守田: 音響工学入門 アース社 昭和 53 年
- 8) 山本: スピーカ・システム (上) ラジオ技術社 昭和 52 年
- 9) 守田: 音響工学入門 アース社昭和 53 年
- 10) 西巻: 音響工学 (上) 近代科学社 昭和 38 年
- 11) Harry F. Olson: Acoustical Engineering D. Van Nostrand Compny 1975
- 12) 川村: 音響工学概論 昭晃堂 昭和 62 年
- 13) シャープ, Z 80 ファミリーテクニカルマニュアル, エレクトロニクスダイジェスト, 1981 年
- 14) 三菱電機半導体データブック編集委員会, '82 三菱電機半導体データブックマイクロコンピュータ関連LSI編, 1982 年
- 15) 三菱電機半導体データブック編集委員会, '83 三菱電機半導体データブックバイポーラデジタルIC〈LS TTL〉編, 1983 年
- 16) NATIONAL SEMICONDUCTOR, LINEAR, DATA BOOK, 1980