

# 陸上競技用電子音式スタート装置の試作

志方 泰\*・横倉三郎\*\*

## Development of Starting System with Electronic Sound for Track and Field

by Yutaka SIKATA 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つつあり、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、陸上競技界に大きな変化をもたらしている。しかし、トラック競技のスタート装置は、未だに紙雷管（火薬）を使用した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。

従来の陸上競技におけるスタート装置には、紙雷管を使用するのでつぎの様な欠点があった。即ち、

- ① 火薬を使用する為危険であり、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という欠点があった。
- 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<sup>1)</sup>。
- ⑤ 不正出発時、リコール用ピストルが不発になると、選手の疲労が増大する為、勝敗、記録等の点においても重大な影響が出るという欠点があった。

そこで、筆者らは、以上の欠点を解消するために、スタート音を電氣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出力するのでは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たところ十分実用に供するとの結果が得られたのでここに発表する次第である。

\* 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  
この研究は、角田紀春氏との共同研究である。

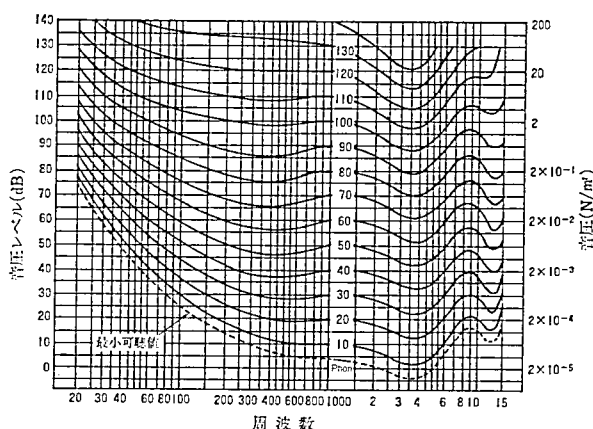


図 1 聴覚の範囲

## 2. 原 理

人の耳に音として感じるいわゆる聴覚の範囲は図1に示したように約 20 Hz から 20 kHz の範囲である。また音の強さは、最小可聴値で約  $-5$  dB, 最大可聴値で約 125 dB の範囲であり最大可聴値を超えると音でなく痛覚となる。さらに、人に聞こえる音の大きさは、周波数により異なり、一般に 1 kHz から 5 kHz 付近で感覚が鋭敏となる。

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み合わせられ、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、しかも物理測定に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、実際の音を録音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<sup>2),3)</sup>。

しかし、陸上競技に使用されるスタータ装置は、紙雷管を爆発させるので、スタータ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、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、紙雷管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、紙雷管を爆発させるピストル音やシンセサイザ等による同じ周波数成分を有する音で長い時間重ね合わせながら減衰させることで源音に残響を加えた形ちになり、その残響効果により、スピーカより出力する音響出力の積分値を大きくしているので、人の耳には大きな音響として聞くことができる。また、この音の周波数成分は、ピストル音の周波数成分と同じような成分となるため音色もピストル音として聞こえる。

以上の理由からピストル音の解析をするには、ピストル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、

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

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、

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

となる。サンプリング開始時を0とすると(2)式は、

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

となる。

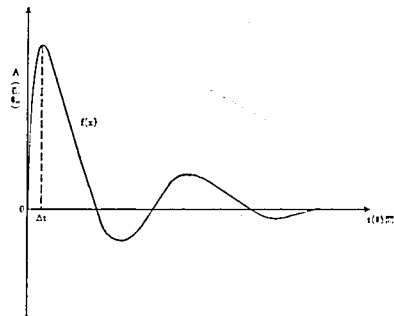


図2 ピストル音

さらに、実際のピストル音は、図2のように立ち上がりがあり、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(3)式は、

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

として源音のパワースペクトルの値が算出でき、この結果よりピストル音の源音に近似した音を作ることができる。

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、ランダムに繰り返し、さらに、対数カーブで減衰させる方法である。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残響室を利用して、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、自由に使用できる。以上の方法によりできたスタート音のデータを、スタート装置のメモリーに入れ、D/Aコンバータを始め、各制御回路のコントロールには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。

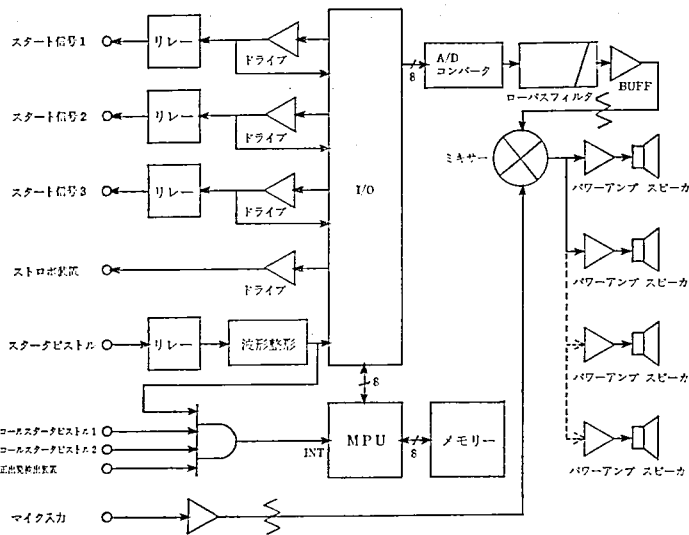


図3 本装置ブロック図

### 3. 回路構成及び動作<sup>(1)(5)(6)(7)</sup>

本装置の回路構成は、ブロック図として図3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」というスタータ（人）の音声マイクを経て装置に入力され、装置内の増幅器にて増幅され、スピーカより選手に拡声する。

スタータ（人）がピストルのスイッチを押すと装置内の入力信号用リレーが動作しリレー接点信号が波形整形回路に入力される。波形整形回路は、入力信号が入ることにより、一定時間のスタートパルスが発生し、I/O（入出力用インターフェース回路）の入力端子に送る。MPU（マイクロプロセッサ）は、スタートパルスがI/Oに入力されると計測装置等へ送るスタート信号用リレーの状態をチェックする。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から信号を送り動作させる。さらに、スタート信号用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が記憶装置内に記録されているスタート音のデータを取り出し、I/Oを通し、D/A（デジタル/アナログ）変換器に、16kHzの同期にて送り出す。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（人）のピストル、リコールスタータ（人）のピストルと不正発射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、出力し0.3秒（変更可能）乃至5秒間にリコール信号が入力された時には、入力と同時にリコール音を出力する。次に、スタート信号が

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わないようにコントロールしている。

#### 4. 実験結果

ピストル音及び電子音の波形解析を行なうには、音源の波形を記録して、その波形データを数値計算することにより周波数成分等を求める方法があるが、今回は、音源を残響のない所で出力し、その波形をFFTアナライザに入力し、波形の解析を行ないX-Yプロッタやブラウン管に表示された結果より波形の特性を測定する。また、電子音の波形はピストル音の波形に比べて非常に時間が長くなるのでFFTアナライザの他にメモリースコープを使用している。この実験の構成をブロック図として図4に示す。

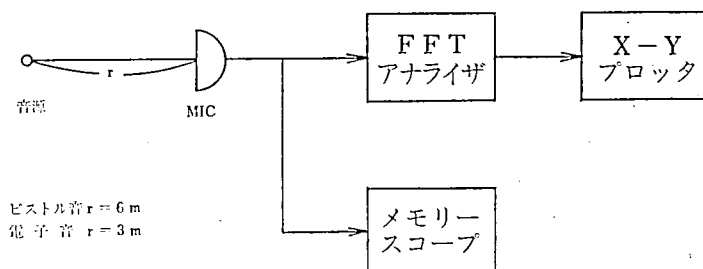


図4 波形測定実験構成図

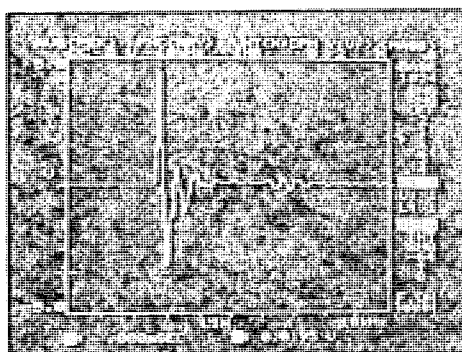


写真1 ピストル音波形

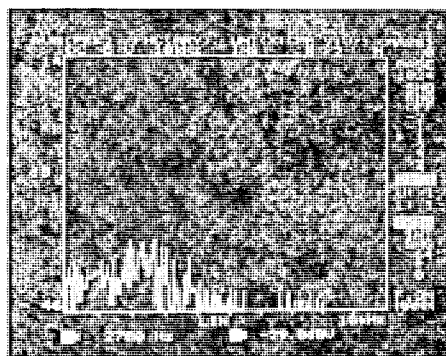


写真2 周波数スペクトル

図4の構成にてピストル音を音源として実験を行ない出力された結果の波形、周波数スペクトル、周波数スペクトル三次元表示を写真1, 2, 3に示す。測定の結果からピストル音は、立ち上がり鋭く、音圧の減衰も非常に早い。そして、音の周波数スペクトルから分かる様に、周波数の帯域は、約100Hzから8kHzの成分であり、約2kHzから3kHzを中心にした100Hzから5.5kHzまでの主成分と6.5kHzから8kHzの二つの成分で構成されているのが分かる。

次に、ピストル音に残響を付けるには、ピストル音の音源を残響室内にて出力し、マイククロホンにてその残響付いた音を拾い、その音を電気信号に変換して出力されたアナログ

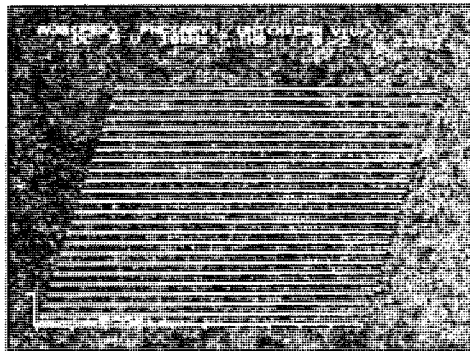


写真 3 周波数スペクトルの三次元表示

信号を A/D コンバータによりデジタル信号に変換され、そのデジタル信号をワンボードマイクロコンピュータにデジタル信号として記憶させる。そして、記憶されたデータは、パーソナルコンピュータ等により、本大学計算機にデータを送り残響の付いたピストル音の解析を行ない電子音のデータとした。また、本装置に使用したデータを表 1 に示し、本大学の計算機にて解析した結果は膨大となるために、本原稿では省略する。

残響を付けるための構成をブロック図として図 5 に示す。さらに、図 5 の方法で出来た電子音のデータを本装置に内蔵し、図 4 に示した構成で電子音の測定を行ない、出力された結果の波形、周波数スペクトル、周波数スペクトルの三次元表示を写真 4, 5, 6 に示す。

電子音の測定結果をピストル音の測定結果と比較すると、ピストル音に比べ波形の変化

表 1

アドレス	データ	アドレス	データ
000	870FF0000FFFFFFF0000006FFFFFFF	200	A8BFC090657FC090502C4FCFFFF08030
010	F05C4FFFF03420000F7FF990000F3DF	210	03001F8FFFFFFF09040375FA2A08A
020	F080000F5F601C3F604F9FB0600FB07F	220	94A58FB78060232F6FFFF0B0301A2F9F
030	FFFFFF0AC9FD0000F3FFFF5D0655D6FF6	230	F0C06059656F8698968976704E6BFBE1
040	C0200F5FC7A29FA0586FC080BF80A07F	240	D090404B3F6FBFFFF0B0200F3F7D1D0
050	AFE081704D4F8FF7C0002FFFF0808050	250	817D918FCFF0A03010000F9FFFF7D080
060	2F6FB0748FA0889060604F89598907E	260	535F597FB0AFC05664F6FB0804F7BCC0
070	6FBF8093705F7FAFC097A0706A7FB9C0	270	A0504FAFEFF08047303F9FDFD080615F
080	C0A0745D6F9C87BA90373F9FE0906056	280	81805E604D4FABC7B9B084B09070404C
090	677A79767F9FFFF05000000FAFFFFFF0	290	5F9FC9DCD0756F8067665E697FC9D6C0
0A0	5000000FCFFFFFF06000000F6F9B7E7FFF	2A0	905F8EA1B0474F6FBFB089706E7FB87F
0B0	F0B020000F7FFFF0A0603E5F708BF080	2B0	90676FAFE090706F9FBEB072655F7EBF
0C0	4F9690526F657FDFF0A0301A324FFFF0	2C0	A070343F7FCFCFC0704459757D7FA07B
0D0	C020241FAFF0B0606FAFE070050FBFFF	2D0	6E7FB6CC8B39780423F7FB09E907045
0E0	F090200E3FEFF208BA0402F9FFBE0A0	2E0	5FBFF0B0804F656FA98FD09042424F8F
0F0	4D554FB09FB0705FA898868FB0504FA9	2F0	BFF0C070455F7FA38FB092905F675A77
100	C0A033301F9FE0D7C0B4908FB065602F	300	8FBFD0A05E5F869588768D9FA7A07046
110	8FFFFFF07024263FCFF0904F7FB098805D	310	5FAFC9C0B39047496C7FBFAFC1A0624B
120	7DFDD0600F3F9FF0BFC058425A6A6F	320	6FAFC6A0604A6F9FC6A060575FBFBFD0
130	8FC3DCC050000F7FFFFFFE040262F5F8F	330	90423F6F9FBFE090615B7FA8A0805F7F
140	E1F0D060041FBFDEC0736FBFF0C2A020	340	9890544F8FCFF1D0704967B7989EA079
150	121F0FFFF4C0100FBFCFB0300B2FAFFF	350	897A91909B929C9E283B36046FAFF5E0
160	FFF060143FEFD080281F4FAFFFF0A01F	360	A0401E2F6F9FD5C0AA906F9298702F4F
170	4F9FE2CDD090602D2F3FBDF0E0868B7F	370	BFEFF5D00602B3F8FA0806A7D97A2B9C0
180	53565B7FA0805069F9FE1E08039300F5F	380	806360515F8FBDB0C4B09060433F7FAF
190	FFFFFF004010002F7EAFD089904F7F	390	CFD090555F9C80804D596F928FA09EA9
1A0	CFFFF090100F4FAFE0C0603F8FCFF9F0	3A0	9C99804E5F8DAS888080585B5C7FAFC1
1B0	90000F3BFFFFFF070000F8FFFF0B0100F	3B0	B0A0806C60566FBFD09074655F9FE4E0
1C0	4FCFD060230F5FCFFFOC040000E3F8F	3C0	70313F6FBFD08080605F8FB0947B6F72
1D0	FFE070100F7FF080301F8FDFFFF0400F	3D0	7EBEB1797F9FCAC09043334F7DFE090
1E0	6F9FE0A0200F9FFF0B0401F5FEF0B0	3E0	565F7F9FAA9060536FAABFD0B7766F83
1F0	805FBFBFC090343F905F959FA04D6B7F	3F0	848A786FB99CA6AFA0704A3F6FAFE0C0

表 1-2

アドレス	データ	アドレス	データ
400	80505F879FB090634F758F987F8C7E80	600	87757D8E94928F837B7E85999D907C71
410	7F8D97A19474668496A188838085757F	610	697D96A7A008576758496A6A088786E71
420	90806B8BAC2C09071796C6C6F9CA9A0	620	78899A598B26A6C73869EAB98878885
430	726A818786908E95AB80904D486F9FD5	630	7C7D797A889C998A7E7978879394887B
440	C0A066595F788E9F9C9180667C9398A8	640	7F899081878482868D97978C7E798897
450	80A080503F7FAB80A68059526F9F8FD5	650	8F88817C848381828E8C8E8887808385
460	B070565F8EA598838593899792B17369	660	928E92857E829296918C796E7C889191
470	7E98A99885726F8FA5957A7067788E9B	670	857785888C929893888375788389848B
480	A9B5A060495F8FAEAA089777F988C81	680	9290887E70B7908C878A918879738292
490	767FBFA093837172708C7F8FA5A29D81	690	999890807986887D7085878C9391908A
4A0	63587A8FA694847A8FA49370576A8FA8	6A0	867B7A85989987D7870838988879390
4B0	A3918882839285766E7F9FB1ADA0704B	6B0	8A868480788A9A3968171677A8A9492
4C0	4F8FBFD0B0705965747C8BDA8B0906F75	6C0	948C827D7C7F8E949B91847A7A818F94
4D0	787E8FA9A7905A6F9AA8A69984706E66	6D0	918585868980848C959482737579899B
4E0	608AA5A6968581746F7E95958E888589	6E0	978780868D8A81849397908275747F8F
4F0	807D818D828790909189858189928F92	6F0	9A9C887B787D898F908886899092887D
500	83807C7E8596978A908C8D80716F99A0	700	76788A928FB882848689888A8E78184
510	85737479F9B1A087756777888F989384	710	8D9295816E7A93A296827A7A81868C89
520	7E84757A888D9D928D9080778697857A	720	8888888996938878717888999E96867D
530	82908E8F857575888A8E8E928D848D97	730	7A807E79899B988E868588827A78828D
540	9C908164556F8F8ED1807049F5F84949E	740	9591928679757C8690933E8E8D827C7B
550	927A7286949E958226C647C9AAD988475	750	859198908780797F8D9088888D8E8681
560	6F94A49880655E7FA8A48C7F82808796	760	828583838E8C8A8C867A7F8D9A978272
570	A3968A766A6F889593888592918C7C7B	770	778D9C988E828778794938A817D8386
580	798FAA0806D7077889AA0816D728998	780	8C91908884827E81898E9189837D7F88
590	9790807E7A7D95A0927C79858FA08070	790	8E8D89888D8C827A79818F9792857978
5A0	5B7FB8C2A0705959F8AC99806E778CA6	7A0	82898D929589827E84888E88888A807D
5B0	B097806F78868F98948C827A79797F8E	7B0	8692948A7D7C869188838383858C8C8A
5C0	979A8D7D79889795907E828987787F8E	7C0	8A898382878890989185797F827F786E
5D0	88756E859FA9A085736C7F9AA0888382	7D0	8F9C9C9078686F889FA19078747F8F93
5E0	787586928F90888D98A0846E6F85928E	7E0	8C82797F8F988D80797D858D979C9080
5F0	83818A7A6E859D8A879378666F84959B	7F0	7A7D7E84889193938C81757789959187

表 1-3

アドレス	データ	アドレス	データ
800	868D939080707485929390887B7E8892	A00	88858383878A8A888686878A888A8884
810	8D8781848C8C8587888D8C8877F7F868C	A10	8284878A888C8986818286888C8C8984
820	8C8683868E9388807E84868A8E888384	A20	8384898C8A84808286888E8C89858386
830	898D8D8E8808087889888582858F928A81	A30	8A8C8A8683858A888888382878D8D8A86
840	7D81878F9792817E7D81878F93908881	A40	8382868A8C8A878485878A8C8A868283
850	8080868F8E8E380878C939185787C858B	A50	85888C8D8A858282868C8E8885828387
860	8E8D8585888C8C888686838283868388	A60	8A8A8785858689898886888988878687
870	8F938D858688878383889091877F7D7F	A70	8888878687888988899888878585878A
880	86898C888C8F908E84817D7D848D8D8C	A80	898687878889888687898A8988858384
890	8C8A85828285868989888E8A847F7E82	A90	85888A89898A888985828183898E8E89
8A0	8B908A838184899391897E787C899693	AA0	84818488888A8A88878684848788888A
8B0	8C86807F848C8D89868587898A878788	AB0	89888888878686868788898887848487
8C0	8789888D8782828285888E8A8C8F8881	AC0	838C8A8784828388898A8684858A8C8E
8D0	7F858F9087807E7F868892948E847B79	AD0	8785838386888D8C88837F7F858C8F8E
8E0	7F8C92928E89837D7D848886F8C878283	AE0	8A8783838588888788888787888A8A86
8F0	86898888888685858A8C8A8484868787	AF0	8283888C8C89858384888A888687898B
900	85818791958D85807F888D8E89848284	B00	8A888685858788888785858889898A8A
910	898C88838181868D8F8D8A8B37F82898D	B10	88868687888786878989898786868687
920	918C8580828484858A8E8C8988878684	B20	888685878A8A898785848487898A898A
930	878C8A85848486888D877F818992948E	B30	888985828385898C8A868385878A8C8B
940	847E7F86898985858A8F8D8A847E7F86	B40	868486888787868588868888D8A878584
950	8C8E8888838287888A8786898A858083	B50	85898889888787868586878787878788
960	898F8E888384878C8D87817F868D8E88	B60	89888787898886868787888788898988
970	87848586878688698C8C888837F828891	B70	86868687878888898988878788878888
980	8F847E818A8D898787898A8886817F84	B80	898785858688898989898688868687
990	898C88878A8C88838387888A88888885	B90	8888888887878787888A898685868788
9A0	858384888A8988888888888887888784	BA0	8A88868686878A8889858385878A8B89
9B0	8489888684848688888C89888586898B	BB0	8685878887848487898A89878687888A
9C0	8C8884807F868E908C8681828A8D8A85	BC0	89878787868587888887878787898A8A
9D0	81848C908A827F848C908E8782818689	BD0	88858385898C8887838386888C898685
9E0	8A8A8986888888827F848B908C858183	BE0	8889878587898A898785848688898888
9F0	878A8C8D8C86817E84898C8888878689	BF0	86868688888889868484858788898C8C

表 1-4

アドレス	データ	アドレス	データ
C00	888685848688898A8988878687878786	E00	87878787878787878787878787878787
C10	E688888A8885838689868A8885848587	E10	87878787878787878787878787878787
C20	898A8988878787878786858587898C8C8A	E20	87878787878787878787878787878787
C30	868485868787888989878586878888888	E30	87878787878787878787878787878787
C40	888888878786878888888686878888888	E40	87878787878787878787878787878787
C50	88888786858586898888898786878889	E50	87878787878787878787878787878787
C60	87858587898987858687898A888858587	E60	87878787878787878787878787878787
C70	888887878889888887868686878A8A88	E70	87878787878787878787878787878787
C80	87878786868687888988888887878788	E80	87878787878787878787878787878787
C90	88878786868789898786868788888887	E90	87878787878787878787878787878787
CA0	86858688888887888888878787868688	EA0	87878787878787878787878787878787
CB0	89888786858888888A878584858888989	EB0	87878787878787878787878787878787
CC0	88868586888989888788888988868586	EC0	87878787878787878787878787878787
CD0	888988878688586878989898785858789	ED0	87878787878787878787878787878787
CE0	89888786878788868686888988888887	EE0	87878787878787878787878787878787
CF0	86868889898887878686878889898886	EF0	87878787878787878787878787878787
D00	858587898A89878585868888888878686	F00	87878787878787878787878787878787
D10	87868988878687888988888786868788	F10	87878787878787878787878787878787
D20	898887868687898A8987868787878787	F20	87878787878787878787878787878787
D30	878888888785868888878788898878787	F30	87878787878787878787878787878787
D40	88898988878688586898A888686878889	F40	87878787878787878787878787878787
D50	89878686888989888686878989898786	F50	87878787878787878787878787878787
D60	858688898988888785858688889898886	F60	87878787878787878787878787878787
D70	868789898886858687898A8988868586	F70	87878787878787878787878787878787
D80	88898989878686878989888787868687	F80	87878787878787878787878787878787
D90	87888887868788898886858687898A89	F90	87878787878787878787878787878787
DA0	87858486888A8A8A87858486888898988	FA0	87878787878787878787878787878787
DB0	87878787878787878787878787878787	FB0	87878787878787878787878787878787
DC0	87878787878787878787878787878787	FC0	87878787878787878787878787878787
DD0	87878787878787878787878787878787	FD0	87878787878787878787878787878787
DE0	87878787878787878787878787878787	FE0	87878787878787878787878787878787
DF0	87878787878787878787878787878787	FF0	87878787878787878787878787878787

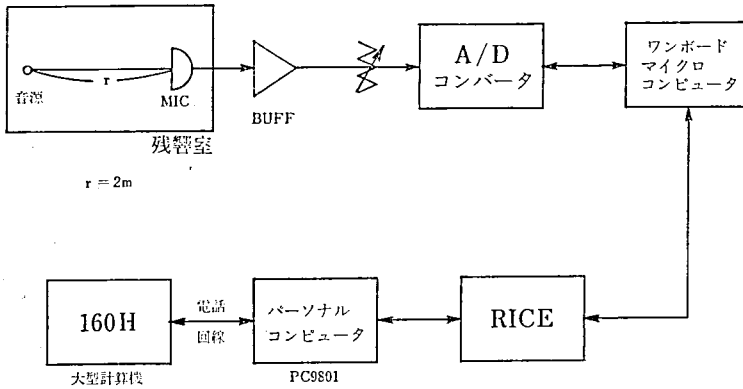


図 5 残響を付ける実験構成図

が遙かに長い時間繰り返されているが、周波数スペクトルのグラフから分かる様に、周波数の帯域は、約 100 Hz から 8 kHz の成分であり、約 2 kHz を中心にした 200 Hz から 5 kHz の主成分と 6.5 kHz から 8.8 kHz の 2 の成分で構成されているのが分かり、このスペクトルの分布は、ピストル音のスペクトルの分布と近似しているために、人がこの電子音を聴いてもピストル音と判断することができる。

また、以上の方法でできたスタート音を本装置にて実際に出力し、人による聴覚テストを行なったところ、残響時間が 100 ms 以下になると、スタート音は、「パン」という音として聞こえ、音の重みがなく、音量も小さくなり過ぎる。また、残響時間が 300 ms を越えると、音量は、大きくなるが、「ガーン」という音として聞こえ、ピストル音とは程



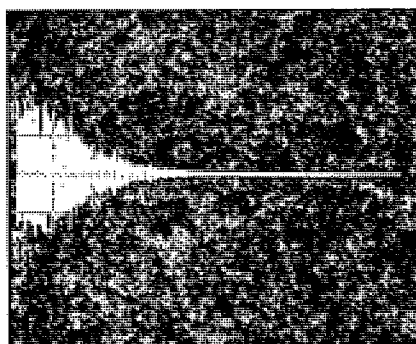


写真 4 電子音波形 0.5 V/div, 50 ms/div

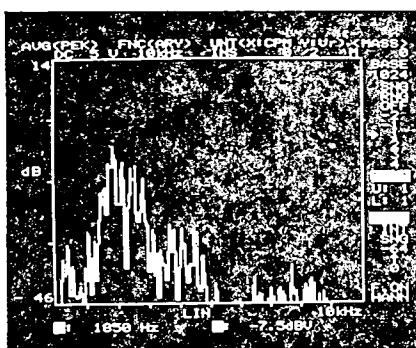


写真 5 周波数スペクトル

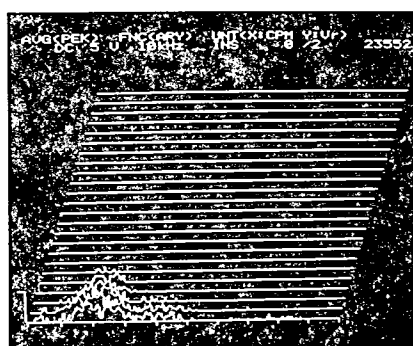


写真 6 周波数スペクトルの三次元表示

遠くなる。ゆえに、この残響時間は、100 ms 乃至 300 ms 程度が望ましく本装置は 255 ms の残響音を使用している。また、この聴覚テストは、陸上競技の役員や選手によるテストを行なったところ十分実用になるとの結果が得られた。

## 5. 結言, 謝辞

本試作機は、昭和60年5月26日三大学対抗陸上競技大会（東京学芸大学陸上競技場）、および昭和60年5月31日から6月2日に行なわれた日本陸上競技選手権大会（国立競技場）の100mのスタート装置として実用に供された。選手および役員の方々の評では、音色に多少異和感はあるが、スタートには全く差し支えないとの結論が得られた。

これに基づいて昭和60年8月29日から9月4日に行なわれる1985年神戸ユニバーシアード大会（神戸総合運動公園陸上競技場）において、実用機が全面的に使用されるので、その結果は、機会を改めて報告する所存である。

末尾ながら、本研究は、明星大学特別研究助成費を用いた。機会を与えていただいた、本学児玉三夫学長、体育学科野崎忠信教授、ニスポーツ上久保、佐藤氏、システムに関し御助言賜わった埼玉県立征生短期大学故大石公哉助教授などの方々に深謝いたします。

## 参考文献

- 1) 佐々木, 野崎:「スターター用電動連発式信号器の開発について」, 日本体育学会第30回記念大

会予稿, 昭和54年

- 2) 早坂：音響工学入門, 日刊工業新聞社, 昭和53年
- 3) 守田：音響工学入門, アース社, 昭和53年
- 4) シャープ：Z80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社, 1981年
- 5) 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マイクロコンピュータ関連 LSI 編, 1982年
- 6) 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<LSTTL> 編, 1983年
- 7) NATIONAL SEMICONDUCTOR, LINEAR DATA BOOK, 1980