

第 7 章

高精度電子走査球面アレイ型システム実現へ向けての考察

提案システムの実験系を用いて評価したシステム基本特性の結果では、相対受信 RMS 誤差を除く、感度と SNR の空間分布については、ほぼ理論通りの特性を示すことが既実証された。しかし、実時間性の要求の元に、マイクロフォン素子特性のバラツキ校正に簡易校正法を用いる限り、システム相対受信 RMS 誤差の実験値は、理論値までに至らないという問題も残されている。実験値と理論値の一致性を探るため、基本システム並びに最適振幅採用システムの実験評価において行った高精度校正法を採用した実験では、それらに良い一致が見られた。これにより高精度校正法の実現は、音源信号の忠実採取にとって不可欠なことであることが判明した。この章では、マイクロフォン素子特性のバラツキ校正を高精度で実現できる既提案システムの実時間高精度版の開発へ向けて、考察する。

球面アレイの構成は基本システムと同様、アレイ軸から同距離にある球面上 8 個のマイクロフォン出力を先に合成して、チャンネルの出力とする。これをデジタル化し、高精度校正、焦点の電子走査を行う。本章では主に後者のデジタル実現について述べる。以下、このようなデジタル手法で焦点走査とマイクロフォン素子特性の校正を実現するシステムをデジタルマイクロフォンシステムあるいはデジタルシステムと称することにする。

7.1 電子走査並びに高精度校正法のデジタル実現

球面アレイに用いるマイクロフォン素子特性バラツキの高精度校正法には、デジタルフィルタリングの演算が必要であり、実時間システム実現の目的に対しては、高速演算できる CPU が要求される。近年、コンピュータを始めとするデジタル技術の発展に伴い、デジタル信号処理技術が著しく進み、その技術を実現したのが広く知られている DSP である。

DSP とは、「デジタル・シグナル・プロセッサ (Digital Signal Processor)」というデジタル信号処理専用の汎用マイクロプロセッサであり、携帯電話、デジタルカメラ、デジタルビデオデッキなどの家電製品および計測機器等に広く使われている。大量な信号を実時間

で高速処理するため、DSP の性能も大幅に改善され、特に高速演算、制御など分野では優れた役目を發揮している。従って、このような高速演算デバイスで、高精度電子走査実時間デジタルマイクロフォンシステムを実現することが可能であると考えられる。

既構築実験系における電子走査は、BBD 遅延素子、デジタルポテンシオメータ、CR クロック発生器、アンプなどのアナログ並びにデジタル制御アナログデバイスで実現した。実時間システムとしては、これは最も簡便かつ実用的な選択であると考ええる。しかし、システムをデジタル化することより、焦点の走査、マイクロフォン素子特性のバラツキ高精度校正等の全てを、計算、制御機能のある DSP 内部で高速、高精度に実現できれば、システム制御の簡潔化も図ることができる。焦点走査のデジタル化の結果、高精度の振幅補正 (DSP の bit 数による) と高精度の遅延時間補正 (DSP の動作周波数と演算速度による) がアナログデバイスでの実現より高精度で期待できる。また、高精度校正を DSP 内部のデジタルフィルタで実現すると、フィルタのタップ数を増えれば増えるほど、校正の精度がよくなる。このように考えた DSP を用いて電子走査と高精度校正を行うブロック図を図 7.1 に示す。

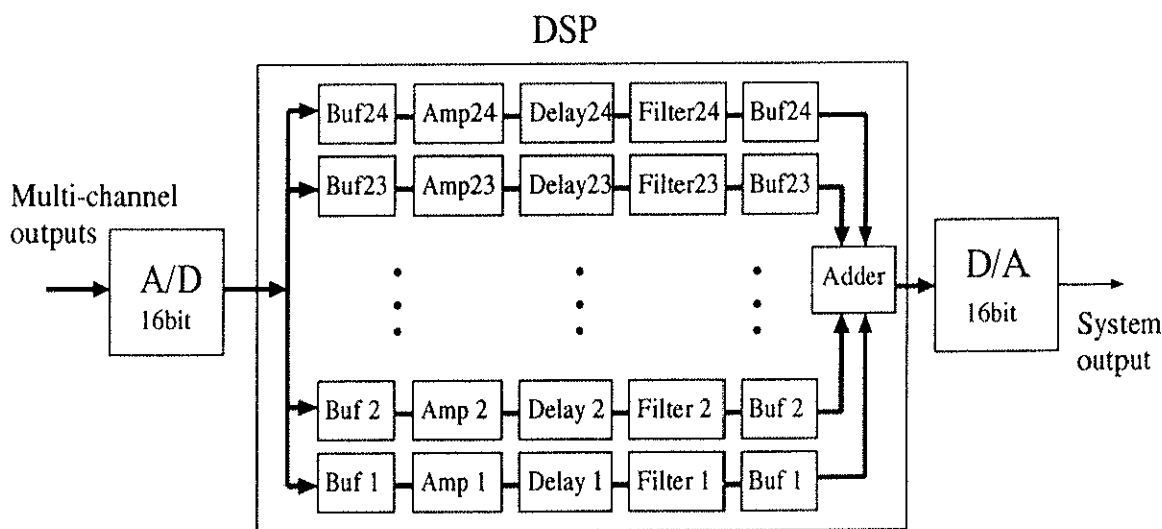


図 7.1: A block-diagram of the high precision, real time, electronic scanning for a digital microphone system by use a DSP.

この構成では、球面アレイ型マイクロフォンシステムの各チャンネル出力をデジタル化し、DSP 内部のバッファに転送、保存する。入力バッファに保存された各チャンネルの受信データに対して、音波伝播に伴う振幅減衰と時間遅延を補正し、さらに予め用意したデジタルフィルタでマイクロフォン素子特性のバラツキ校正を行う。その後、出力バッファに保存して、最後に加算、D/A 変換を行い、システムの出力とする。

このように、振幅補正と遅延補正が DSP 内部で行われるため、焦点の電子走査をアナログ

デバイスで実現することより、実現しやすく、システムの構成も簡単となる。以下、考察する各種の構成では、この部分の実現が必須であるが、簡明化のため、これを省略して議論する。

7.2 DSP 利用ディジタルマイクロフォンシステム構成案

ディジタル処理の速度、システム構築のコスト、構築の簡易性などを総合的に考慮し、DSP を用いた高精度電子走査球面アレイ型ディジタルマイクロフォンシステムの構成例を、以下のように高速型、簡易型、並びに実用型の3種に分けて考案する。

7.2.1 高速型高精度実時間ディジタルシステム

高速データ転送、演算可能な DSP を利用し、各チャンネルの出力を単独に A/D 変換し、高精度校正法に必要なフィルタリングもハードウェアで実現する高速型実時間ディジタルシステムの構成を図 7.2 に示す。

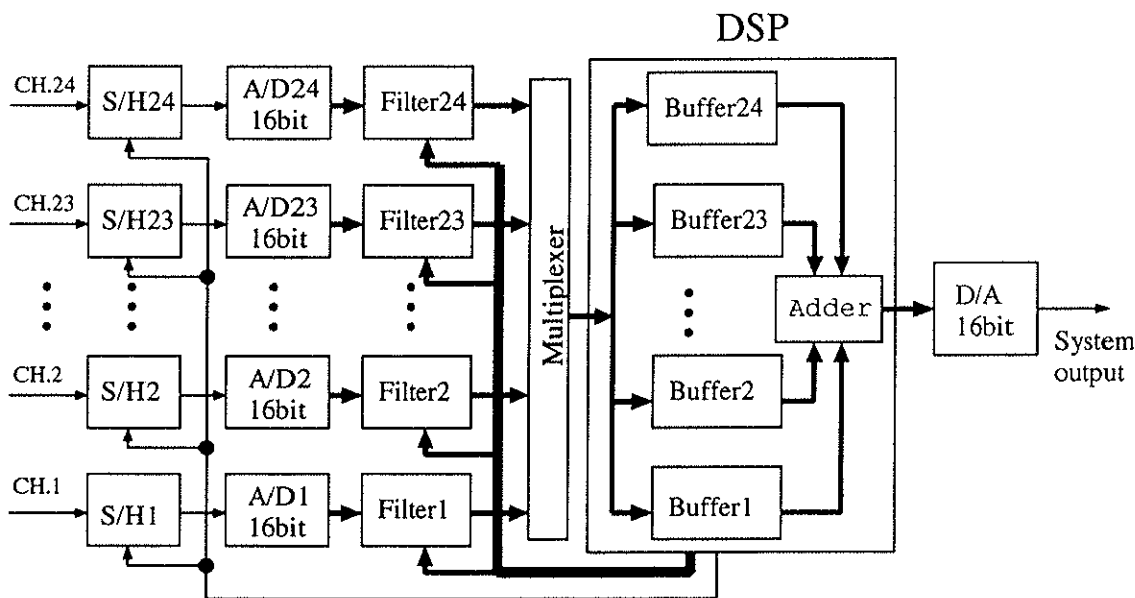


図 7.2: A high speed system's block-diagram of the high precision, real time, electronic scanning for full compensation of mean frequency characteristics of overall channel digital microphone system by use a DSP.

このような高速型高精度実時間ディジタルシステムの構成では、マイクロフォンシステムの各チャンネル出力を独自の A/D 変換器で変換し、DSP 内に用意した各チャンネルのフィルタの係数を FIR フィルタに設定することによって、各チャンネルの出力に対する高精度校正のフィルタリングを実時間で平行して行った後、各データを順番に DSP 内に転送、保存し、最

後に加算してシステムの出力とする。この場合、高精度校正用のフィルタリングはハードウェアで実現しているため、高速の校正ができる。この種の構成は高周波数信号の記録には適している。

しかし、各チャンネルには独自の A/D 変換器を配置した上、FIR フィルタもハードウェアで実現するため、システムが複雑であり、コストも高い。また DSP の性能を十分発揮させていないという欠点もある。

7.2.2 簡易型高精度実時間デジタルシステム

システムの構築コストを最小にするためには、システムの処理速度を犠牲し、全チャンネルに対して A/D 変換器 1 台割り振り、時分割りで使用し、高精度校正法に必要なフィルタリングを DSP 内のソフトウェアで実現する。このための簡易型高精度実時間デジタルシステムの構成を図 7.3 に示す。

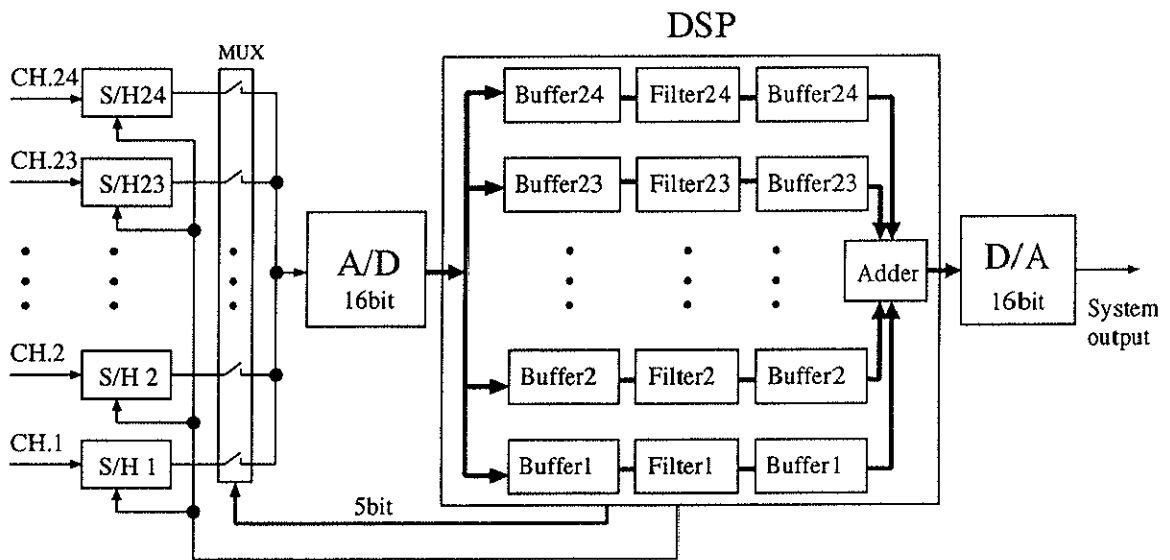


図 7.3: A simple system's block-diagram of the high precision, real time, electronic scanning for full compensation of mean frequency characteristics of overall channel digital microphone system by use a DSP.

本考案の簡易型実時間デジタルシステムの構成では、DSP の制御下で、球面アレイ型マイクロフォンの各チャンネル出力を同時サンプリングして、順次に A/D 変換を行い、DSP 内バッファにデータを蓄える。それと同時に、当該蓄積データに波動伝播に伴う振幅、遅延補正を実時間で行った後に、予め用意した高精度校正用フィルタでチャンネル毎に校正し、加算、D/A 変換してシステムの出力とする。高精度校正のフィルタリングは DSP 内部でチャンネル

毎に行っているため、処理速度が遅く、採取できる音源信号の最高周波数が制限される。従ってこの種の構成は定周波数の信号の採取に適している。

高精度校正、焦点走査などの操作は DSP 内部で行い、また、全チャンネルで単一の A/D 変換器を共用するため、システムの構成は、簡単となり、コストも低く、実現し易い。

7.2.3 実用型高精度実時間デジタルシステム

システムの処理速度と構築コストを総合的に考慮し、ある程度の処理速度を犠牲し、一つの A/D 変換器を複数チャンネル間で共用し、時分割で使用すれば、ある程度コストダウンできる。高精度校正に必要なフィルタリングを DSP 内のソフトウェアで実現する実用型高精度実時間デジタルシステムの構成を図 7.4 に示す。この図では 4 チャンネルに対して 1 台の A/D 変換器を割り振っている。

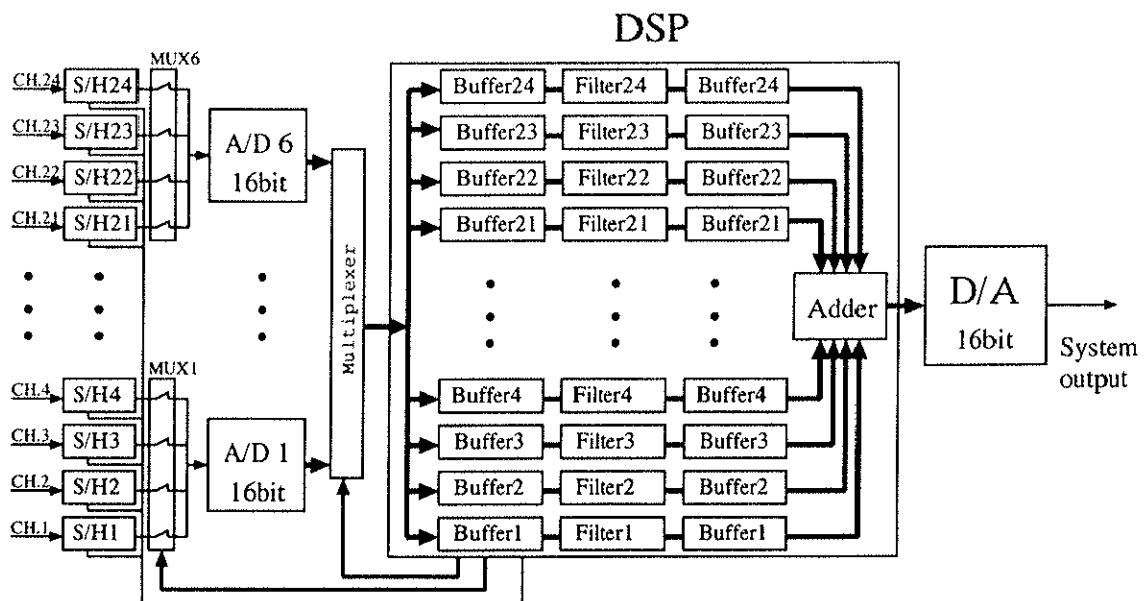


図 7.4: A practical use system block-diagram of the high precision, real time, electronic scanning for full compensation of mean frequency characteristics of overall channel digital microphone system by use a DSP.

本考案の実用型高精度実時間デジタルシステムの構成では、各チャンネル出力を同時サンプリングして、4チャンネル毎に順次に A/D 変換を行い、DSP 内バッファにデータを蓄える。それと同時に、当該蓄積データに波動伝播に伴う振幅、遅延補正を実時間で行った後、予め用意した高精度校正用フィルタでチャンネル毎に校正し、加算、D/A 変換してシステムの出力とする。このような構成では、簡易型より、A/D 変換時間を短縮でき、データの転送と高精

度校正のフィルタリングが同時進行できるため、採取できる音源の最大周波数がある程度期待でき、音源周波数があまり高くない場合の信号記録に適している。

A/D 変換器の制御，データの転送，高精度校正フィルタリングの同時進行には，ソフトウェアの最適化が必要となる。また，DSP のコストが高くない場合，多 DSP 化の構成も考えられ，その都度，FIR フィルタリングソフトウェアの統一制御などの問題も考慮すべきである。

7.3 高精度実時間デジタルシステム実現に関する考察

前節で考案したデジタルマイクロフォンシステム構成の特長を表 7.1 に示す。

表 7.1: A comparison about proposed construction of the digital microphone systems.

	複雑さ	コスト	高周波信号採取	開発周期
高速型	×	×	○	○
簡易型	○	○	×	○
実用型	△	△	△	×

○: 非常に良い △: 良い ×: 良くない

実際構築の前に，以上の比較表に基づき，使用目的に合わせてシステムの構成を選択する必要がある。しかし，DSP 使用の場合，これらの構成では実現できるかどうかについて，以下具体的な数値例を挙げて，検討する。

前にも述べたように，忠実な波形採取のためには，マイクロフォン素子のバラツキの高精度校正が必要である。これを実現するデジタルフィルタとしては，線形位相の FIR フィルタあるいはこれと当価なものが要求される。また高精度なデジタルフィルタを実現するには，周知のようにフィルタのタップ数を沢山用意しなければならない。しかし，タップ数の増加に伴って，フィルタリングに必要な処理時間が長くなり，希望通りの周波数範囲を記録できるかどうかの問題になってくる。このような背景では，システムの実現可能性は，主に FIR フィルタの処理速度で決められる。

一方，FIR フィルタの処理時間は DSP のクロック周波数とフィルタのタップ数に決められ，DSP に TI 社の TMS320C31(浮動小数点演算，動作周波数 33MHz，サークル 60ns，最大 60MFLOPS) を使い，67 タップの FIR フィルタで高精度校正を行う場合，24 チャンネル分の校正には約 $57.024\mu\text{s}$ がかかる。従って，最高周波数 17.5kHz の信号をリアルタイムで処理でき，このような高精度な実時間デジタル化マイクロフォンシステムは実現可能である。

また，最近商品化された TI 社の TMS320C6701 は動作周波数 167MHz，1GFLOPS の単精度演算，8 つの命令同時実行可能の高性能 DSP デバイスの採用により，高速演算可能にな

り、高精度、実時間デジタルマイクロフォンシステムの実現が一層容易となる。

多チャンネルで A/D 変換器を共用する場合、同時サンプリングされ、S/H に保持している信号が、チャンネル毎に A/D 変換を行う間には次第に減少するため、その分を DSP 内部で補正する必要がある。その補正量は減衰関数に従い、計算できる。

DSP の高性能化により、高精度校正を行うと共に、機械的な回転と首振りの制御も DSP で一括で行うことができるものと期待できる。

7.4 本章のまとめ

この章では、マイクロフォン素子特性バラツキの高精度校正ための高精度実時間電子走査球面アレイ採用のデジタルマイクロフォンシステムの実現について考察した。採取音源信号の周波数範囲に応じて、高速型、簡易型と実用型の構成を考案し、各自の特長を一般的観点から議論した。また、この種のシステムの可能性については、高精度校正に用いるデジタル FIR フィルタを DSP で実現する場合、該当処理所用時間から、最高記録可能周波数を試算し、所望システムの最高記録周波数の観点から、システムの実現可能性を明らかにした。

本章で考案した各種の構成は、今後のデジタル版マイクロフォンシステムの実現、さらに実用化際して、有用な基本データを与えるものである。この章では触れていないが、高速 FIR フィルタを実現するソフトウェアの最適化、最速化も工夫する必要がある。