

全方位ネットワークマイクシステムの開発

Development of 360-degree Network Microphone System

徳田 肇 道
Toshimichi Tokuda

松尾 正治郎
Shojiro Matsuo

松本 宏之
Hiroyuki Matsumoto

吉國 信太郎
Shintaro Yoshikuni

牧 直 史
Tadashi Maki

荒木 潤 二
Junji Araki

要 旨

セキュリティ関連製品の高性能化の要求に対応して、当社監視カメラと合体して360° 全方位から任意に指定した方向の音を集音することができる、全方位ネットワークマイクを製品化した。

マイクアレイ信号処理による超指向性のビームフォーミング集音技術と、既存セキュリティカメラ/レコーダーとの連携技術を開発することにより、カメラ映像の録画再生時にも画面上の操作で任意の方向からの音を抽出可能な、他社にないユニークな映像および音声監視ソリューションを実現した。

Abstract

In response to needs for security-related products that have higher performance, we have commercialized a network microphone that works with Panasonic's surveillance camera. It can record all sounds coming from the direction that has been specified by the user. We developed super-directional beamforming recording technology using microphone array signal processing and technology to link this with an existing security camera/recorder.

And finally, we achieved unique video and audio monitoring solutions that can extract the sound from any direction when recording and when playing back video captured with the video camera.

1. はじめに

近年の凶悪犯罪の増加に対し、安心・安全な社会基盤の実現を目的として、ネットワークカメラによる監視システムがさまざまなシーンで導入されている。監視システムの構築にあたっては主に映像情報と、映像を解析して得られる顔認識などの情報を活用したソリューションが一般化しているが、これら映像情報だけでは対応できない事例も多く、音声情報を記録して活用したいとの要望が大きかった。

これに対し、従来の監視カメラ内蔵マイクや外部接続マイクには以下の問題があり、十分に機能していなかった。

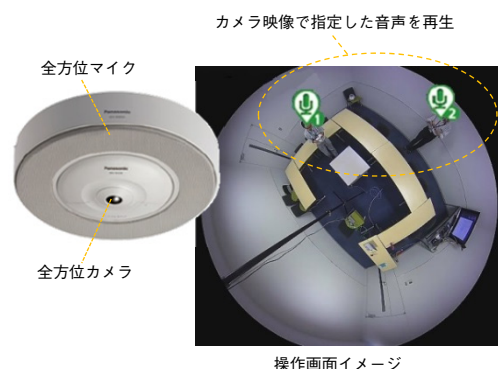
- (1) 周囲のノイズを拾い、目的の音が聞こえない。
- (2) 広い場所には複数台のマイクが必要になる。
- (3) 外部マイク接続では監視範囲が限定される。

そこで筆者らは、当社の全方位ネットワークカメラと組み合わせて音声と映像による360° 全方位の監視が可能な全方位ネットワークマイク（以下、全方位マイクと記す）を製品化した（第1図）。全方位マイクの特長を以下に示す。

- (1) 当社独自技術により任意の方向に鋭い指向性を形成し、目的の音をクリアに聞き取れる。
- (2) カメラ映像上で聞きたい方向を自由に指定できる。

- (3) レコーダーに記録された映像・音声を再生する際にも映像上で聞きたい方向を指定できる。

本稿は、まず全方位マイクによる新規ソリューションの構成を紹介し、その実現に向けた技術課題と開発成果を述べる。最後に製品の実用性能をフィールド検証した結果について紹介する。



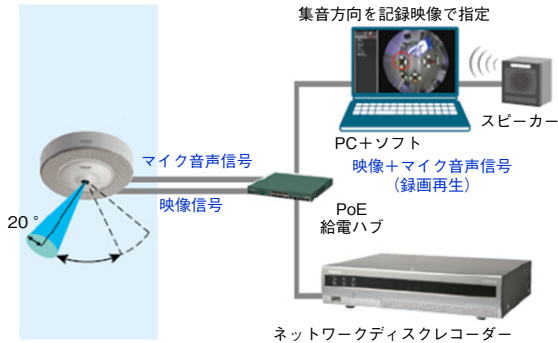
第1図 音による監視ソリューションの提案
Fig. 1 Proposal for monitoring solution using sound

2. ソリューション概要と課題

2.1 全方位マイクシステムの構成

今回開発した全方位マイクシステムは、天井に設置した全方位カメラ・マイク、レコーダー、PCおよびPCソフ

ト、PCに接続するスピーカー、によって構成される（第2図）。

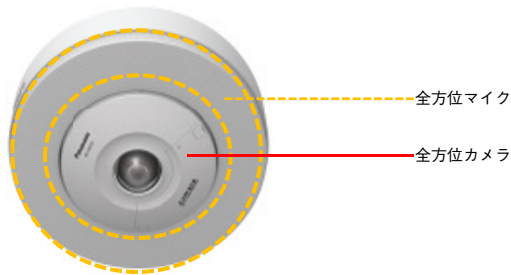


第2図 全方位マイクシステムの構成
Fig. 2 Configuration of 360-degree microphone system

以下、これらシステムの構成要素の概要を説明する。

〔1〕全方位マイク本体

今回開発した全方位マイクは、全方位カメラと物理的に結合（第3図）して、コンパクトな形態で設置運用することができる。本体は16個の無指向性マイクが円形に配置されたマイクアレイの構成であり、16 kHzサンプリングの広帯域音声データを圧縮し、ネットワーク上に送信する。



第3図 全方位マイクと全方位カメラ
Fig. 3 360-degree microphone and camera

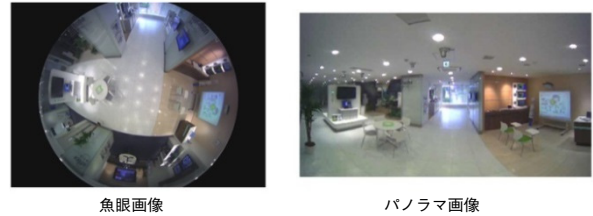
〔2〕全方位カメラ

当社が2012年に発売した超広角対応のネットワークカメラであり、360°画角（水平／垂直180°）の魚眼画像と、180°水平画角のパノラマ画像にて、少ない設置台数で監視、モニタリング効果が得られる（第4図）。

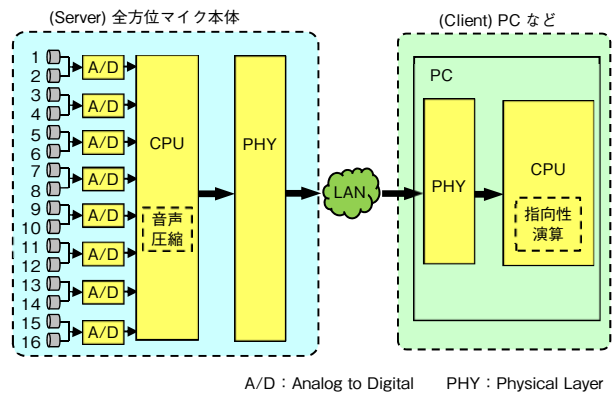
〔3〕音声受信装置（Client：レコーダー、PCソフト）

レコーダーは配信された音声データを長時間記録し、PCはその音声データを用いてユーザーの指定箇所をGUI（Graphical User Interface）より入力し、位置情報に基づ

く指向性演算によってその方向の音声を抽出する（第5図）。



第4図 全方位カメラの出力画面
Fig. 4 Output screen of 360-degree camera



第5図 全方位マイクシステムの機能構成
Fig. 5 Functional configuration of 360-degree microphone system

2.2 ソリューション実現の技術的課題

本ソリューションの実現にあたっては、大きく次の2つの課題があった。

- (1) 本システムは、店舗などに設置して従業員や来店者の音声を集音することを想定して設計した。その場合、騒音レベルを60 dB程度、マイクと話者の直線距離を最大6 m程度と仮定すると、会話音声を音声明瞭度75%以上で聞き取れるためには、文献[1]によると話者の周囲の騒音を約18 dB抑圧する必要があることになる。これには指向性が約20°（目的音が半分に減衰する角度：半値半角）に相当する集音技術を開発する必要があった。
- (2) 今回のソリューションは、当社のカメラ監視システムを設置しているお客様が容易に導入可能かつ、新規のお客様も当社システムを採用する動機付けになることを目的として、全方位カメラ／レコーダー／PCソフトから構成される従来の監視システムへ全方位マイクを組み合わせて提供することを目指した。その実現のためには、これら個々の製品が出力する映像データと音声データの時間・空間的な情報を正

確に同期させて、シームレスな連携を行う技術を開発する必要があった。

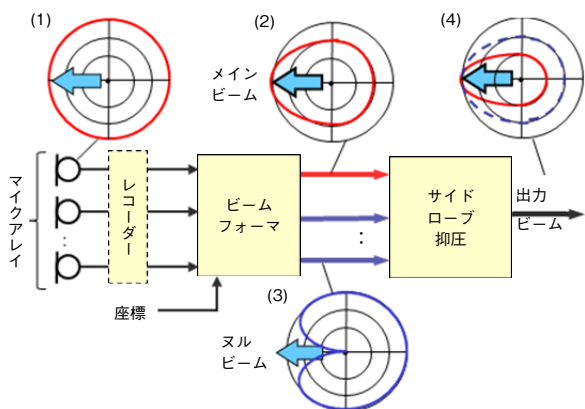
以下、課題解決に向けた開発内容を示す。

3. マイクアレイ集音技術

3.1 超指向性ビームフォーマ処理

本システムは、全方位マイク本体が出力する16ch分の音声データを入力とした、PC上での指向性合成処理（ビームフォーマ処理）により、目的の音声データを抽出する。

ビームフォーマ処理の概要を（第6図）に示す。16個の無指向性マイクから收音された信号（第6図（1））から、ビームフォーマ部が目的方向（赤色矢印）に緩い指向性をもつメインビーム（第6図（2））と、目的方向（青色矢印）に死角をもつヌルビーム（第6図（3））を作成する。そしてサイドローブ抑圧部は、メインビーム成分からヌルビーム成分を適応的に減算することにより、目的方向に鋭い指向性をもった最終出力信号（第6図（4））を作成する。



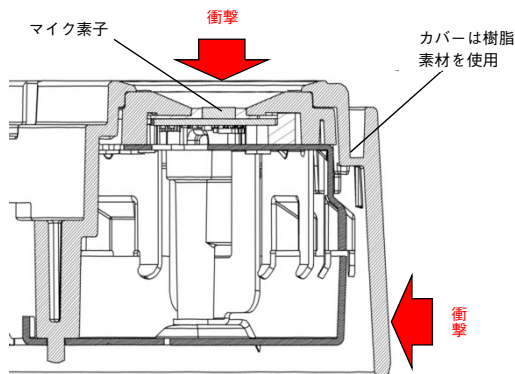
第6図 ビームフォーマ処理の構成
Fig. 6 Configuration of beam former processing

3.2 ハードの高耐久性の実現

マイクアレイは、複数配置されたマイク素子に到達する音波の微小な位相差を利用して目的方向の音を抽出するため、マイク素子の取り付けには高い精度が必要となる。特に監視システムは、破壊目的の衝撃を受ける可能性があり、変形を防止する高耐久の設計が必須である。

そこで全方位マイクの筐体（きょうたい）は、銅板製のフレーム素材を樹脂製のカバー素材で覆う形状を採用している（第7図）。これにより、衝撃を受けた際には、カバーがまず弾性変形して衝撃を吸収し、フレームと接触しても塑性変形領域に達することなく復元されること

によって、マイク素子や基板の破壊を防ぐ。その結果、強い衝撃（IK10＝約20 J相当）に耐える構造を実現した。なお、IKコードは欧州規格で定義されている外部衝撃保護等級である。

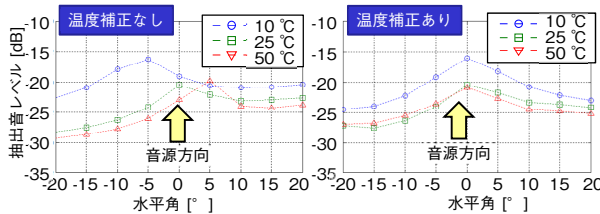


第7図 全方位マイクの筐体構造
Fig. 7 Structure of housing of network microphone

3.3 温度変化への対策

全方位マイクの製品使用温度範囲は-10℃～+50℃であり、温度による音速変化の影響に由来する音源位置のずれが最大約10°生じる計算となる。そこで、全方位マイク本体に温度センサを内蔵し、その検出温度を使ってビームフォーマ処理に使用する音速値を補正した。

温度補正をしない（25℃固定とする）で、外気温を-10℃～+50℃で変化させた場合、実際の音源方向から±5°程度ずれた方向に音圧のピークが表れるのに対し、温度補正した場合は、音源方向と音圧のピークが一致していることがわかる（第8図）。



第8図 温度補正の効果
Fig. 8 Effect of temperature correction

3.4 マイク素子感度ばらつき／異常の検出

一般的なマイク素子はその感度に±3 dB程度の個体差（ばらつき）を有するが、本システムの目標性能を得るためには、その値を±2 dB以下に抑える必要があるうえに、長期間の使用による故障や感度の経年変化も考慮する必要があった。

そこでまず、工場組み立て時にマイク素子検査を行い、測定した感度と位相の個体差から計算した補正値を全方位マイク本体に記憶させた。音声配信時はマイクの個体差を補正した音声信号を出力することでばらつきの影響を抑えることとした。また、個々のマイク素子が収集した音声データを常時監視し、断線や故障をリアルタイムで検出する仕組みを実装した。その判定方法は

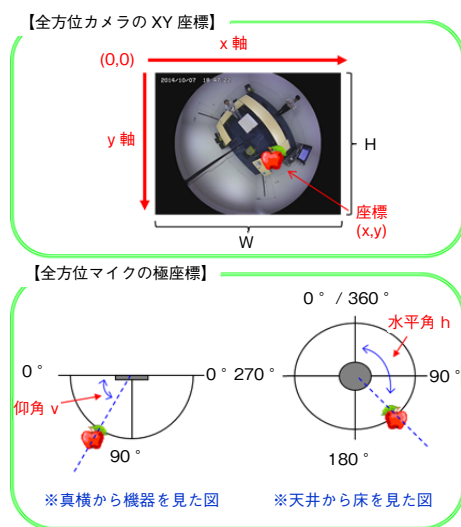
- (1)16 ch各データの平滑化パワー値の平均値を算出
- (2)平均値と個々のデータの差が許容範囲内かを判定
- (3)一定区間内の上記判定結果により異常判定実施

というものであり、検出したマイク素子異常発生情報は、ネットワーク上の監視ソフトウェアやレコーダーに、アラーム情報として通知する。これにより、監視システムの管理者は機器修理依頼などの対応を速やかに実行することができる。また、本機能で異常を認めたマイク素子個体についてはその後のビームフォーマ処理対象から除外する。結果、やや性能は落ちるものの、集音機能は継続して利用可能であり、監視システムの可用性が下がることを回避できる。

4. カメラ監視システムとの連携技術

4.1 全方位カメラ映像との連携

全方位カメラが撮像する映像は魚眼レンズを通した画像であり、実際の目に見える画像と比べ一定の法則に従った歪（ひず）みをもっている。第9図において、ユーザーはモニタ表示されたカメラ魚眼映像上の一点(x, y)



第9図 全方位カメラ（上）とマイク（下）の座標の変換
Fig. 9 Coordinate transformation of 360-degree camera and 360-degree microphone

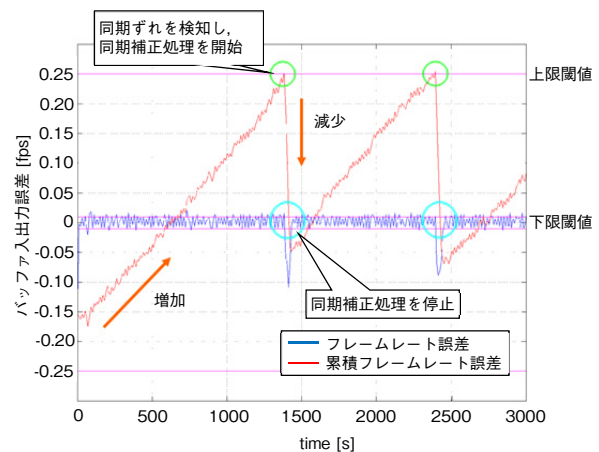
をマウスクリックなどで指定するわけであるが、ビームフォーマ処理に必要な情報は指定位置に対する仰角／水平角(v, h)である。そこでカメラの魚眼レンズ特性を考慮した特有の変換式を用い、(x, y)から(v, h)への変換を行っている。

4.2 映像と音声の同期再生技術

全方位マイクと全方位カメラが搭載するクロック素子の誤差によって、映像と音声の同期が取れなくなることも課題の1つであった。

このような場合に、映像、音声ストリームの時刻情報を利用して同期を取ることが一般的であるが、機器ごとに管理している時刻情報を百数十msの誤差で合わせることは非常に難しいため、同様の同期手段では実現できない。そこで、本システムではPCブラウザ側にて、以下の方式により実現を図った。なお、その目標精度として参考文献[2]が定める時間同期ずれの目標値である「185ms以下」を採用した。

- (1) 実際のマイク、カメラにて映像、音声の処理時間を計測しておき、映像、音声の受信データに対し、その時間差を考慮した遅延をデータに挿入することにより出力データの先頭で出力タイミングを揃えて同期を取る。
- (2) 送信機器からの送信揺らぎやデコードエラーなどの受信機器側の時間ずれ要因に起因する処理中の同期ずれを映像、音声の出力バッファのデータ量増減により検出し、閾値（しきいち）を超えた場合に補正処理を実行して同期を維持する。データ量増加時は間引きにより消費を速くし、減少時は補間により消費を遅くする（第10図）。



第10図 映像と音声の時間同期処理
Fig. 10 Time synchronization of video and audio

上記の補正による効果を計測した結果、ユニキャスト配信およびマルチキャスト配信とも、音声と映像の同期ずれを100 ms以内に補正できていることを確認した(第1表)。

第1表 時間同期ずれの補正結果

Table 1 Corrected results produced by time synchronization deviation

配信方式 (映像/音声同一)	目標値 [ms]	結果値 [ms]
ユニキャスト*	-185~+90	±99以内
マルチキャスト**	(参考文献[2])	

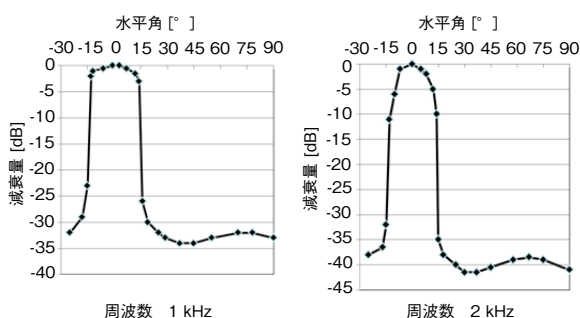
*：全方位マイクと音声受信側は1対1通信

**：全方位マイクと音声受信側は1対多通信

5. フィールド評価実験

5.1 集音性能の測定

中規模の集会ホールに全方位マイクを持ち込み、指向性と騒音抑圧量を測定した。集音方向を0°に固定し、音源位置を横にずらしながら出力音を測定し、目的方向を基準(0 dB)にした相対的な感度を測定し、その平均値をプロットした結果(第11図)、音声信号のエネルギーが大きい周波数1 kHz(第11図左側)と2 kHz(第11図右側)において、約15°(半値半角)の指向性と、25 dB以上の減衰量が得られた。これらは目標性能とした指向性20°以下と、減衰量18 dB以上を満たしている。なお、0°付近はビームの幅の狭さに限界があるため抑圧できていない。



第11図 全方位マイクの指向性測定結果

Fig. 11 Measurement results of microphone directivity

5.2 実地収録評価

ショッピングセンターの天井に全方位マイクを設置して、レジ係と案内係の店員音声を収録評価した(第2表)。

このように話者の周囲の騒音が20 dB前後抑圧されて、ほぼ発話内容を容易に聞き取ることができた。しかし距

第2表 評価結果

Table 2 Evaluation results of recorded voice

係員	話者距離	騒音量	騒音抑圧量
レジ	約6 m	65 dBA	21 dB
案内	約5 m	66 dBA	19 dB
案内	約5 m	64 dBA	22 dB

離が同じ程度でも案内係の場合、顔の向きや声量が一定でないため、聞き取りにくい印象を受けることもあった。話者が反対側を向くことにより、声の音量が約6 dB低下することが一般的に知られており(文献[3])、今後はこのような顔の向きや個人差の影響を受けにくい性能の改善も目指していきたい。

6. まとめ

本稿では従来のカメラ監視システムと組み合わせ、録画後にも映像画面上で自由に指定する方向の音をクリアに再生することで、お客様にまったく新しいソリューションを提供する全方位ネットワークマイクシステムについて説明した。そして、その実現におけるマイク集音性能と既存監視システム連携の技術課題に対する解決手段を説明し、フィールド試験結果について述べた。

マイク集音性能については、超指向性ビームフォーマ信号処理によって、指定した方向に約20°以下の鋭い指向性と18 dB以上の騒音抑圧性能を実現した。またマイクアレイ本体の設計では堅牢(けんろう)性を考慮した構造と、部品性能の個体差や経年変化の補正、さらには設置場所の温度変化も検出して補正制御することにより、監視システムに求められる信頼性と性能安定化を図った。

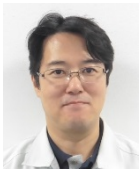
既存のセキュリティカメラ/レコーダーとの連携については、全方位カメラのさまざまな映像モードに対応して指定位置を集音方向に正確に変換する技術、およびカメラ映像とマイク音声との同期再生技術を開発することで実現した。

このマイクシステムは現在、店舗や交通機関、医療関連施設などさまざまな場所への導入が始まっており、その用途も犯罪トラブルの防止に限らず、顧客対応品質の向上や、児童施設の見守り、学術記録など、さまざまな広がりを見せている。今後もそれらソリューションのノウハウを蓄積しつつ、お客様の要望に応えるコア技術の開発を継続することで、さらなるソリューションの改善を目指していく所存である。

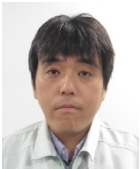
参考文献

- [1] H. Gustav Mueller et al., "An easy method for calculating the articulation index," The hearing journal, vol.43, no.9, 1990.
- [2] Relative timing of sound and vision for broadcasting, ITU-R Recommendation BT.1359-1,1998.
- [3] 新版 聴覚と音声, 三浦種敏 (監), 電子情報通信学会 (編), コロナ社, 大津市, 1980.

執筆者紹介



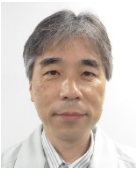
徳田 肇道 Toshimichi Tokuda
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation center, AVC Networks company



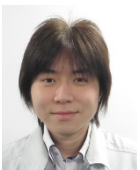
松本 宏之 Hiroyuki Matsumoto
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation center, AVC Networks company



牧 直史 Tadashi Maki
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation center, AVC Networks company



松尾 正治郎 Shojiro Matsuo
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation center, AVC Networks company



吉國 信太郎 Shintaro Yoshikuni
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation center, AVC Networks company



荒木 潤二 Junji Araki
AVCネットワークス社
イノベーションセンター
Innovation center, AVC Networks company