

イベント向け警備支援のための映像解析技術

宮城惇矢* 古木一朗*
西辻 崇*
服部亮史*

Visual Analysis Techniques for Event Security Management

Junya Miyagi, Takashi Nishitsuji, Ryoji Hattori, Ichiro Furuki

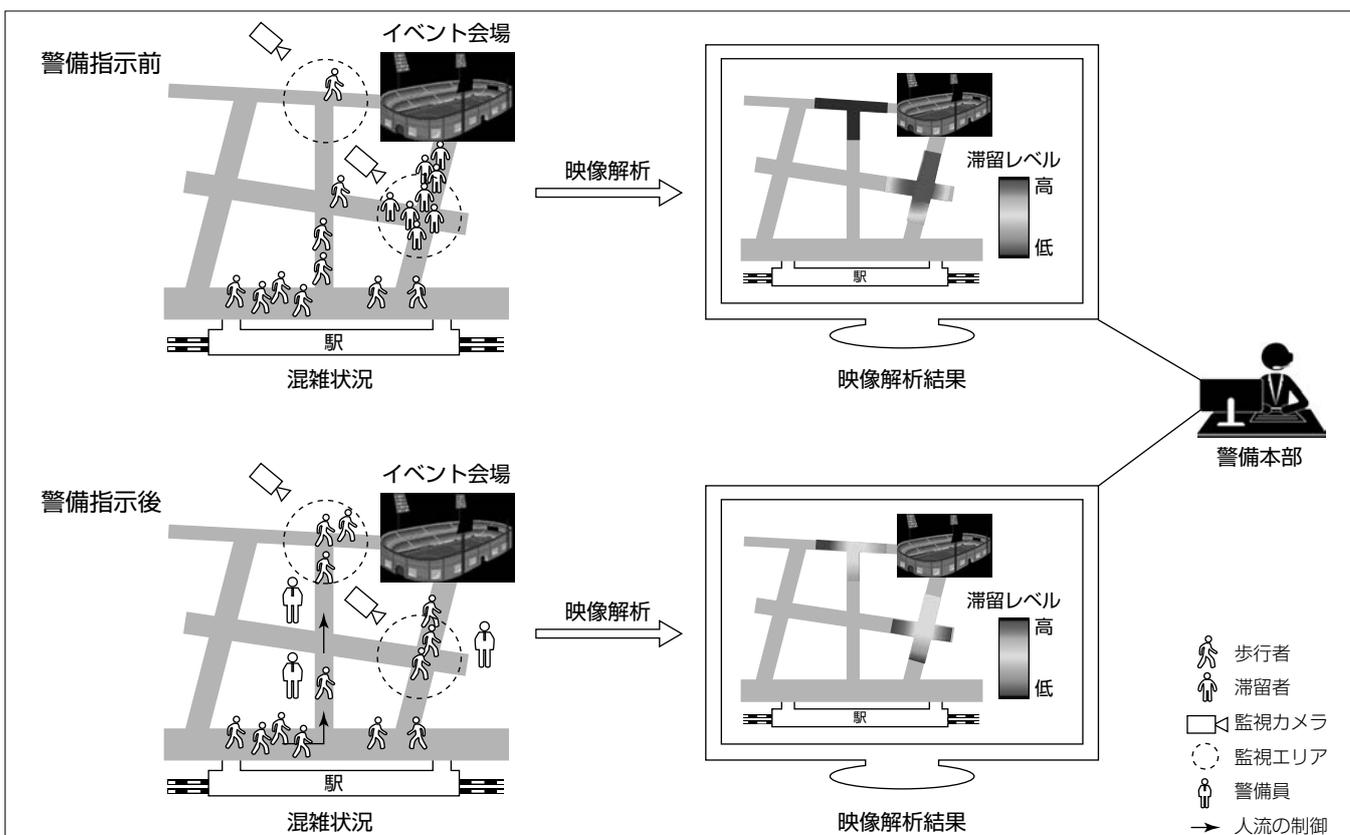
要 旨

花火大会やスポーツ大会等の大規模イベントでは、多数の参加者による群集雪崩のような雑踏事故発生の可能性があり、雑踏警備による混雑発生の早期発見と抑制が必要である。従来の雑踏警備では、現場の警備員からの主観的な情報を収集して判断するため、状況判断、警備指示は警備員の経験に大きく依存し、大規模イベントでは、適切な警備が困難になっている。三菱電機では、監視カメラ映像の解析と可視化によって、雑踏警備をITで支援する技術開発を進めている。映像解析によって混雑状況を数値化し、地図上で可視化して提供することで、混雑状況の判断・予測、それに基づく適切な警備指示を可能にする。

カメラ映像の解析技術として、ある区間の通過人数を推定する人流解析方式と、群集が移動できず滞留状態にあ

ることを検知する滞留検知方式を提案する。群集映像を用いて評価した結果、前者で人流誤差9%、後者で滞留状態検知正解率93%が得られ、適切に混雑状態を判断する可能性を確認した。両方式とも、低演算量が特長であり、監視カメラ内のプロセッサで十分に処理可能である。映像解析をサーバで実施する方式に比べ、解析のための映像伝送が不要で、データ量の小さい解析結果のみを伝送することができ、大規模イベント警備のための無線通信を用いた一時的なシステムも容易に構築可能である。

今後、既に開発したマルチホップ無線技術、俯瞰(ふかん)映像合成技術等と組み合わせ、雑踏警備のIT支援を進めていく。



警備支援に向けた映像解析技術の活用例

駅からイベント会場までの経路に監視カメラを設置し、監視カメラ映像を解析することで主として群集の動きに関する情報を用いて、混雑状況の可視化を行っている。図は地図上にヒートマップとして混雑状況を可視化したものである。警備本部では混雑状況をリアルタイムかつ正確に把握でき、適切な警備指示を速やかに出すことが可能になる。

1. ま え が き

花火大会やスポーツ大会、コンサート等のイベントでは、参加者の集中による混雑が発生する。イベントの大規模化に伴い、混雑は人命に関わる群集雪崩のような事故リスクの高い雑踏に変化するため、混雑の早期発見とその抑制を担う雑踏警備は重要である。

従来の雑踏警備では、イベント現場に配置された警備員の目視による混雑状況を、主観的・定性的な情報として警備本部に音声で伝達する。警備本部の警備員は、これらの情報を用い経験に基づき混雑状況を判断・予測して警備方針を決定するため、警備業務の質は警備員、特に本部警備員のスキルに大きく依存する。大規模なイベントでは、警備員の増加によって本部に伝達される情報が増え、警備エリア全体の正確な状況把握と適切な警備方針を決定することが困難となる。

この問題に対し、当社は映像解析に基づく混雑状態分析とその可視化によって、雑踏警備をITで支援する技術開発を進めている。イベント現場に設置した監視カメラの映像から混雑状態を数値化し、警備本部に地図上で混雑状況を可視化し提供することで、警備エリア全体の混雑状況把握精度の向上や適切な警備方針の決定を可能にする。このような適切な人流誘導によって雑踏事故リスクを低減し、安全・安心で快適なイベント実現に貢献する。

2章では混雑状態解析と可視化に基づくイベント警備支援システムの全体像、3章では監視カメラ映像による混雑状態解析技術について述べ、4章でまとめと今後の課題について述べる。

2. 混雑状態解析に基づくイベント警備支援

雑踏事故のリスクが高く、警備・誘導の重要性が高いイベントとして、公共交通機関を利用する花火大会やスポーツ大会、コンサート等の大規模イベントを想定する。駅とイベント会場間では、イベント参加者と一般通行者が交錯し、特にイベント終了後には、帰宅者が集中して混雑が発生するケースが多い。参加者は経路についての知識が乏しい場合も多く、前後にしか進めない道路上では退避行動がとれず、雑踏事故のリスクが増大する。

このようなイベントでは、経路上に多数配置される警備員からの定性的な報告よりも、道路上で双方向に移動する人数とその時間変化の把握、及び、移動する人数が減少したのか、混雑によって移動できずに滞留しているのかを監視カメラ映像から解析し、全体把握を行うことが重要である。

監視カメラは、防犯用途又は事件・事故の要因分析の目的でイベント現場にも導入が進んでおり、我が国では2020年の東京五輪開催に向けて更なる普及が予想されている。監視カメラの高画質化、映像処理技術の進展によっ

て、カメラ映像の解析技術の実用化が進んでおり、混雑状態解析に適用する方式も報告されている⁽¹⁾。

従来の混雑状態の映像解析では、個々のカメラ映像から混雑状況を検出する解析精度向上を主たる目的に研究がなされている。しかし、雑踏警備では、個別のカメラ映像の精度よりも、監視範囲全体の人の流れ(人流)とその変化の把握が重要である。さらに、精度向上を目指す方式では、映像中の人物認識に基づく方法など、一般に演算量が大きく高性能サーバでの処理が必要になる。解析をサーバで行う場合、多数のカメラからのリアルタイム映像伝送を保証する広帯域通信路、つまり有線通信が必要となる。このような設備をイベントごとに期間中のみ設置することは、コストがかかり、特に有線通信は設置条件からも現実的ではない。

そこで、映像解析を活用する警備支援システムとして、次を目標として開発している。

(1) 解析手法の目標

- 個別のカメラ映像範囲の人数把握ではなく、経路上での人流量を検出できること
- 人流量が増加・減少したのか、増加によって移動が困難で雑踏事故リスクが高い滞留が生じているのかを検知できること
- これらの検知が、カメラ設置条件などによらずロバストに行えること

(2) システム構築上の目標

- 映像解析は、カメラ内、又はカメラ側に併設される機器上で実現可能な処理量であること
- 解析結果は十分に少ないデータ量であり、警備本部で目視する場合に必要な一部のカメラからのリアルタイム映像伝送と併せて、無線通信によってシステムが構築できること
- イベント規模に応じた柔軟な構成がとれること

(3) 情報提供手法の目標

- 人流、滞留情報の位置、時間変化などを、警備員にとって容易に判断・予測可能な可視化情報として提供できること(図1)

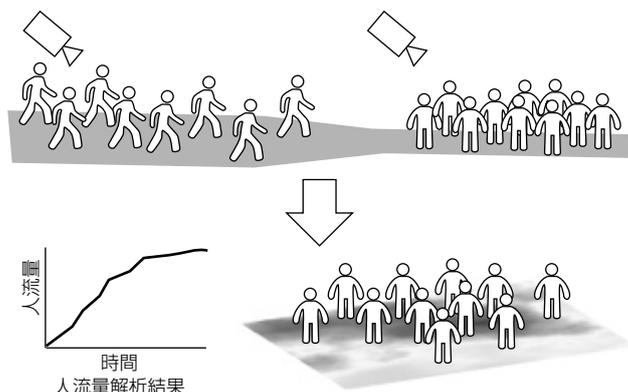


図1. 混雑状況の可視化

これらを満足する映像解析技術として、動き情報に基づく人流量解析方式と、滞留検知方式を提案する。動き情報は映像の連続するフレーム間での物体の動きを大きさと方向で表現したものである。動き情報としては、映像の圧縮符号化の過程で抽出される符号化情報としての動きベクトルと、画素ベースで動きを抽出するオプティカルフローがある。動き情報を用いて映像の特定の位置を通過する映像特徴量の評価によって人流量推定を、時間的な特性の変化から、滞留を検知する。

これらの方式では、映像の大局的特徴からの推定であり、個々のフレーム内の人物認識によって人流量や滞留を解析する方法に比べ、精度向上は困難であるものの、安価なプロセッサを追加することでカメラ内、又はカメラ側の機器実装が可能である。さらに、映像のフレーム間の変化に着目した方式であるため、カメラの設置位置や方向、背景画面、天候などの影響を受けにくく、人が前景として撮影されているかぎり、環境に対して頑健な検出が可能であると考えられる。

さらに、人流量、滞留判定結果という映像データに比較して極めて少量の解析データのみを警備本部側システムに伝送すればよく、その解析データ量は時間的な変動が小さいことから、無線伝送の品質上多少のパケットロスがあっても、警備本部の状況把握に影響が出ることはない。

3. 混雑状態解析技術

この章では、イベント警備支援を目的とした混雑状態解析技術について述べる。解析対象とする混雑状態を示すパラメータは人流量、滞留状態の2種類である。

3.1 人流量解析方式

映像のフレーム間の変化量であるオプティカルフローを利用して経路上の人流量を推定する。基本的な考え方は、映像内で人が歩行していれば、歩行方向に人の面積に対応する前景の動きがオプティカルフローとして観測されるというものである⁽²⁾。

しかし、この手法が対象とする雑踏警備のための監視カメラ映像では、前景面積と人流量は比例しない。監視カメラは多くの場合、群集を斜め上方から撮影する。この撮影条件では、群集の密度が低い場合には、個々の歩行者が個別に観測されるが、高密度群集では、歩行者同士の重なりあい、すなわちオクルージョンが高い頻度で発生することが予想されるため、前景面積と人流量は比例しなくなる。そこで、前景面積と群集密度の関係の分析に基づき、人流量を推定することで、オクルージョンの影響を除外する。

前景抽出処理では、次の歩行者の振る舞いの性質に注目することで処理負荷低減と精度向上を果たしている。

- (1) 移動方向は経路に沿った一方向又は二方向である。
- (2) 混雑に伴い(群集密度1.5人/m²超)、歩行者同士の追

い抜きが困難になるため⁽³⁾、群集密度及び移動速度が一樣となり、時間経過に伴う群集内の歩行者の位置関係の変化が小さくなる。

(1)の性質によって、経路と交差する部分領域のみを処理対象としても、経路を通過する群集を漏れなく解析できる。また(2)の性質によって、部分領域で取得した群集特徴量の時系列データは、部分領域を通過した群集を映像全体を空間的に捉えた特徴量とみなすことが可能になる。例えば1 m/sで移動する群集の前景面積を前記部分領域で10秒間観測した場合、移動方向に10m分の群集の前景面積を取得したものとみなせる。フレームごとの画像処理対象範囲を狭い画像領域に限定できるため、処理量を大きく低減することができる。また狭い画像領域内では群集の撮影角度やスケールの変動が少ないため、歩行者一人に対応する前景面積が安定し、人流量解析の精度向上が期待できる。

前景面積と群集密度の関係は、歩行者同士のオクルージョンの割合を群集密度ごとに求めることで導出した。オクルージョンの割合は、群集密度に対して定まる歩行者間の距離、歩行者の平均寸法及び監視カメラの俯角(ふかく)から導出した。

この考え方に基づき、次に示す4つのステップで人流量を解析する(図2)。

- ステップ1：経路と交差するラインをあらかじめ設定する。
- ステップ2：その周辺の部分領域のオプティカルフローを各フレームに対して算出する。
- ステップ3：ラインをまたぐオプティカルフローを持つ画素集合を、オプティカルフローの方向別に前景として各フレームで抽出する。
- ステップ4：抽出した前景の面積をフレーム分累計し、前景面積と群集密度の関係から、前景面積よりフレームにラインを通過した歩行者数を方向別に推定する。

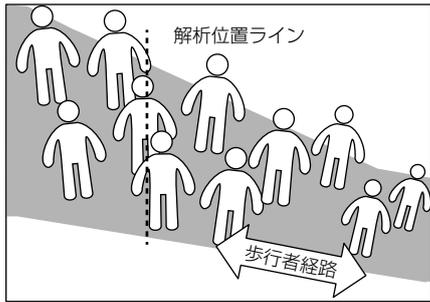
歩行者経路を移動する群集を100分間撮影した映像を用いて提案方式の性能評価を行った。評価映像は10fps、400×250ピクセルの動画である。撮影時の監視カメラ俯角は60°、また最も人流量の大きい時間帯で、目視で確認した群集密度は2人/m²であった。

各時刻における人流量を往路方向と復路方向別に解析した結果を図3に示す。どちらの時刻でも、目視で取得した真値に近い人流量が得られた。また人流量の累計の真値からの誤差は9%であった。

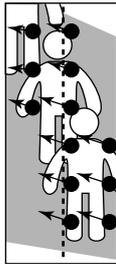
評価映像はほぼ全ての時間帯でオクルージョンが発生しており、また流量の増加に応じてオクルージョンの割合も高くなる状態であったものの、解析結果と真値がどちらの時刻でも一定の誤差範囲内で収まっており、オクルージョンの影響を除外して人流量が推定できていることを確認した。

これによって、歩行者同士のオクルージョンが発生する

ステップ1：あらかじめ歩行者経路と交差するラインで解析位置を設定



ステップ2：
オプティカルフロー算出



ステップ3：
ラインをまたぐ前景を抽出



ステップ4：Nフレーム分の前景面積から群集密度推定に基づき歩行者数を推定

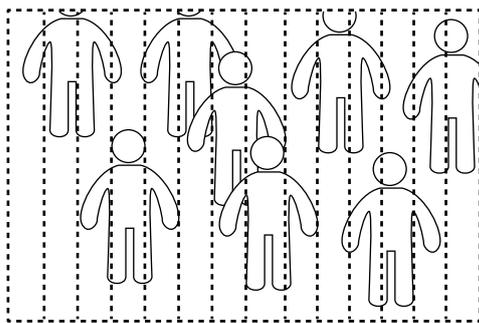


図2. 人流量解析手法

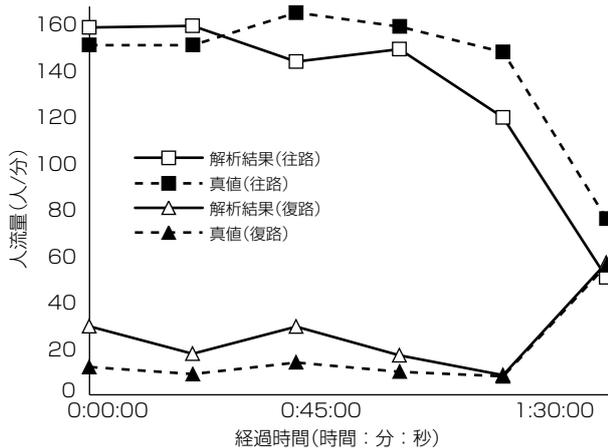


図3. 人流量解析結果

高密度群集に対して、誤差9%の人流量解析を実現した。今後は様々な撮影条件で提案手法の評価を行い、課題抽出と性能改善を実施していく。

3.2 滞留検知方式

群集が移動している場合には、映像からは映像の各領域

で一定方向の動き情報が検出される。一方、滞留が生じると、移動量は小さくなり、移動以外の人の動きによる局所的で方向が一定しない動き情報が観測される。そこで、群集映像から抽出した動き情報の時間的なバラつきを乱雑度と定義し、その度合いから滞留を検知する方式を開発した⁽⁴⁾。また、この方式では圧縮符号化時の動きベクトルを映像の動き情報として用いることで処理負荷の軽減を図った。

乱雑度 ε を式(1)のように定義する。

$$\varepsilon(x, y, T) = \left(\left| \sum_{t=NT}^{N(T+1)-1} \bar{v}_t(x, y) \right| \right)^{-1} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 (x, y) は乱雑度を計算する画素ブロックの位置座標であり、 $\varepsilon(x, y, T)$ は画素ブロック単位で求められる。これは、符号化時に得られる動きベクトルが画素ブロック単位で算出されることに由来し、現在の監視カメラに広く用いられているH.264符号化方式の場合、画素ブロックの最小単位は 4×4 ピクセルである。 N は乱雑度を計算するフレーム数、 T は映像を N フレーム単位で区切ったときのインデックス番号、 $\bar{v}_t(x, y)$ は画素ブロックにおける t フレーム目の動きベクトルである。

この方式では、動きベクトル $\bar{v}_t(x, y)$ を連続する N フレームにわたって合成し、合成ベクトルノルムの逆数を乱雑度 $\varepsilon(x, y, T)$ として定義する。このとき、動きベクトル $\bar{v}_t(x, y)$ を単位ベクトル化して合成することで、映像の奥行きによって生じる動きベクトルのスケール差や、突発的に発生するノイズの影響を軽減する。 $\bar{v}_t(x, y)$ の偏角が時間的にバラついている場合、すなわち映像中の群集が滞留状態にある場合、合成後のベクトルノルムは小さくなるため、 $\varepsilon(x, y, T)$ は大きくなる。一方、 $\bar{v}_t(x, y)$ の偏角が一定方向に偏っている場合、すなわち映像中の群集がスムーズに流れている場合、合成後のベクトルノルムは大きくなり、 $\varepsilon(x, y, T)$ は小さくなる。

この方式では、次に示す3つのステップで滞留を検知する(図4)。

ステップ1：監視カメラ映像の符号化情報から動きベクトルフレーム分を抽出する。

ステップ2：抽出した動きベクトルのうち、同一箇所にある動きベクトルから、乱雑度 $\varepsilon(x, y, T)$ を計算する。

ステップ3： $\varepsilon(x, y, T)$ から画素ブロックごとの滞留有無を判定し、滞留ありと判定された画素ブロックの個数、位置関係、及び時間的な連続性を総合的に判定し、最終的な滞留有無を検知する。

この手法の有効性検証のため、滞留と解消を断続的に繰り返す群集映像を用い、滞留検知実験を行った。使用した映像の諸元を表1に示す。ここで滞留状態を、映像から切り出した 225×225 ピクセルの領域で、連続するフレーム中で領域外への人の移動がない状態と定義する。今回は3秒

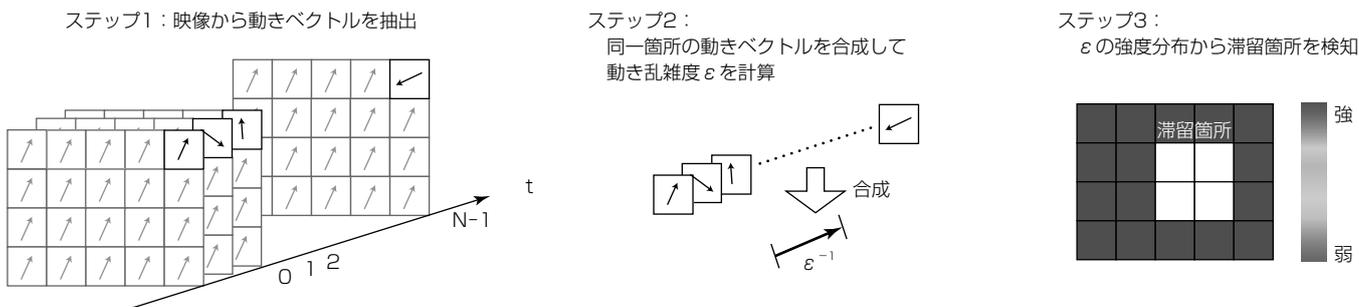


図4. 滞留検知手法

表1. 評価映像の諸元

| 項目 | 値 |
|--------------|-----------|
| 解像度(ピクセル) | 1920×1080 |
| 長さ(min) | 10 |
| フレームレート(fps) | 10 |

表2. 評価結果

| 評価総数784 | | 目視で得られた滞留状態 | |
|---------|------|-------------|------|
| | | 滞留あり | 滞留なし |
| 検知結果 | 滞留あり | 371 | 16 |
| | 滞留なし | 35 | 362 |

単位で滞留を判定，すなわち $N=30$ とし，映像中から切り出した4つの領域で，目視で得られた滞留有無を真値として，この手法による検知結果の正解率を測った。評価結果を表2に示す。全検知結果784件に対する検知正解数は733件であり，検知精度は93%であった。

誤報及び失報原因を分析したところ，大半は滞留と解消の過渡段階でのエラーであり，その前後では正確に検知できていることから，時間的に連続する滞留状態を検知するという視点からは問題とはならないと考える。一方，システムの目的から，最も避けるべきエラーである滞留状態を検知できない失報35件について詳細分析した結果，7件のエラーは被写体の動きが小さい，又は輝度差が小さいなどの要因で，動きベクトルが検知されず，人がいない状態と同等と判断されたためのエラーであった。

これらの結果から，時間方向の処理などによる改善を行えば，十分に高い精度で滞留状態の検知が可能であると考えられる。今後はさらにカメラ設置位置，夜間，雨天，背景の状況などの種々の環境での性能検証と改良を行う。

4. むすび

従来の雑踏警備では現場の警備員からの主観的・定性的な情報を収集し判断するが，イベントの大規模化に伴い従

来手法での現場状況判断はますます困難になっている。この問題に対して，我々は，監視カメラ映像の解析結果に基づき，より適切な警備を可能にする警備支援システムに適用可能な映像解析技術を開発した。

開発技術によって，カメラ内での映像解析による混雑状態解析が可能になり，解析結果を地図上に多様な可視化を行うことで，混雑状況の把握ができる。また，解析結果のみを常時伝送することによって，イベント現場で構築可能な狭帯域なネットワーク環境下でも運用が可能となった。

今後は，映像解析方式の評価改良を行い，広域無線ネットワークの構築を可能にするマルチホップ無線技術⁽⁵⁾，複数のカメラ映像をシームレスに合成し監視者の見やすい視点からの映像の提供を可能にする俯瞰映像合成技術を適用してイベント警備支援システム開発を進めるとともに，雑踏の予測や人工知能技術を用いる誘導支援の開発も行い，雑踏警備のIT技術による質の向上と効率化を進めていく。

参考文献

- (1) 上田昌治，ほか：防災・広域監視，映像情報メディア学会誌，70，No.1，70～74 (2016)
- (2) 服部亮史，ほか：混雑状態解析・可視化に基づくイベントセキュリティシステムの提案，電子情報通信学会総合大会，D-12-41 (2016)
- (3) 貝辻正利：イベントを安心して楽しんでいただくために，講談社エディトリアル (2014)
- (4) 西辻 崇，ほか：動画像動きベクトルを用いた群衆の滞留検知，電子情報通信学会総合大会，D-12-42 (2016)
- (5) 三菱電機ニュースリリース 2015年1月28日：仮設用途対応監視カメラ向け無線ネットワークを開発 http://www.mitsubishielectric.co.jp/news/2015/0128-a_zoom_02.html