



全周囲方向を捉えるカメラ・ソリューション

大日本印刷株式会社 ABセンター
開発本部 シニアスタッフ 外村 元伸

食品工場において、毒物混入事件が発生したことは、消費者側からみて大変おそろしいことでした。また、製造者側にとっては大変な損害でありました。そこでこのような事件が起こるのを、常時監視していることを示すことによって未然に防ぐ、あるいは起こってしまったときに人の行動を把握し犯人を特定する手段として、監視カメラの導入に関して興味をもっておられることを前提に説明します。監視カメラの役割は、主として作業員の異常行動の監視であり、カメラの撮像範囲に死角があってははいけません。そこで、何台かのカメラを使って監視することになるのですが、コストが増すばかりでなく複数台カメラの設置、配線、映像表示および記録のために機器のコントロールが複雑になってくるといった問題が発生します。できれば全周囲方向がカバーできる1台のカメラでまかないたいと思われるでしょう。しかし、どんなに視野角の広いレンズを装着したカメラを使ったとしても、1台では1方向からしか捉えることができず、オクルージョン(蔽い隠し、死角)が発生してしまいます。監視対象の被写体が1つで低い凸形状のものである場合には、最低2台のカメラで死角なしに被写体の表裏がカバーできます。実際には、円柱のような凸形状は、その半分すら見えません。そして、被写体に凹形状が含まれたり、複数の被写体がある場合には、相互の影になったりするので、さらに台数を追加する必要があります。本稿では、このような場合のアプローチ法について説明します。

1. カメラの撮像範囲を決める視野角

撮像範囲の広いカメラとして、広角カメラ、超広角、魚眼カメラや全方位カメラがありますが、一般に誤解されやすい内容を含んでいます。それで、図1に示す視点の中心から見た視野の球面モデルを用いて説明します。撮像範囲の広さを視野の角度で表し、視野角または画角といいます。視野角は、標準カメラが25~50度、広角カメラが60~100度、超広角、魚眼カメラが110~180度超です。全方位360度カメラなどとはよくいいますが、それは視野角の意味ではありません。視点をぐるりと360度回転したときに見える様を表しています。視野角180度の魚眼レンズを用いたカメラによって、全方位360度がカバーできますが、曲面ミラーによって反射される周囲像を捉えることによってもカバーできます。一般に、全方位360度カメラというのは、後者の曲面ミラーを用いたカメラのことを指します。そこで、本稿では、図1に示す視野の球面モデルによっ

て表わされる球面全体の視野を対象とすることから、「全周囲(全球)方向」ということにしました。そして、全周囲方向を捉えるカメラ・ソリューションを扱います。「視野角が広いほどよいだろう」とよく誤解されるのですが、視野角が広くなるにつれて、イメージセンサのサイズが一定なかぎり画像の解像度が落ちてきます。

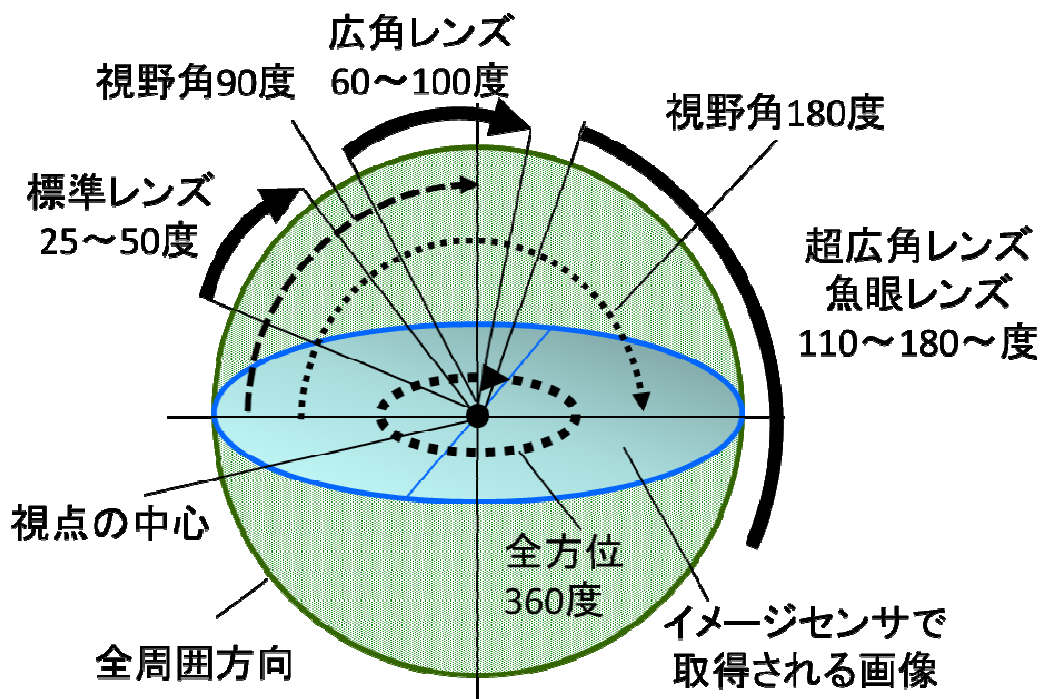


図1 カメラの撮像範囲と視野角

2. オクルージョンをなくすためのカメラの配置関係について

カメラの視野角の広さとそれらの配置関係について説明します。監視範囲は長方形を仮定します。監視範囲を天井側から見たときの様子を図2の中央部に示します。長方形の頂点付近にカメラを置く場合、どちらかの対角線の両頂点に置くと、被写体の表と裏側を同時に撮ることができます。しかし、必ずしも表と裏側が完全に撮れるとはかぎりません。図4に示すような円柱状の物体を考えてみてください。幾何学的に明らかのように、カメラ1台では円柱部の半分も撮れません。つまり、それを補うために、カメラ2台を用いて、円柱部の半分以上を覆う必要があります。それで、一般には、3~4

台のカメラが要求されます。ここでは、単純な配置として図2に示すような4台のカメラ配置で考えます。

被写体を見る方向に遮蔽物がある場合、オクルージョンが生じます。そのため、例えば視野角 90 度の場合、長方形の頂点である四隅にカメラを図2に示すように配置します。そうすると、少なくとも被写体に円柱形状のようなものを想定した場合、オクルージョンがなくなります。視野角 180 度の魚眼カメラを同じく四隅に配置すると、長方形の外側の余分な領域も写ることになります(図2中央)。それで、図3に示すように四隅ではなく4辺(壁)のそれぞれの真ん中付近に配置して全体をカバーします。同じく4台のカメラを配置するならば、図2と図3の画像を比較することで視野角 90 度の方が解像度の面ですぐれていることがわかれると思います。画像の歪み具合については、次に説明するように、補正することができるのであまり本質的ではありません。

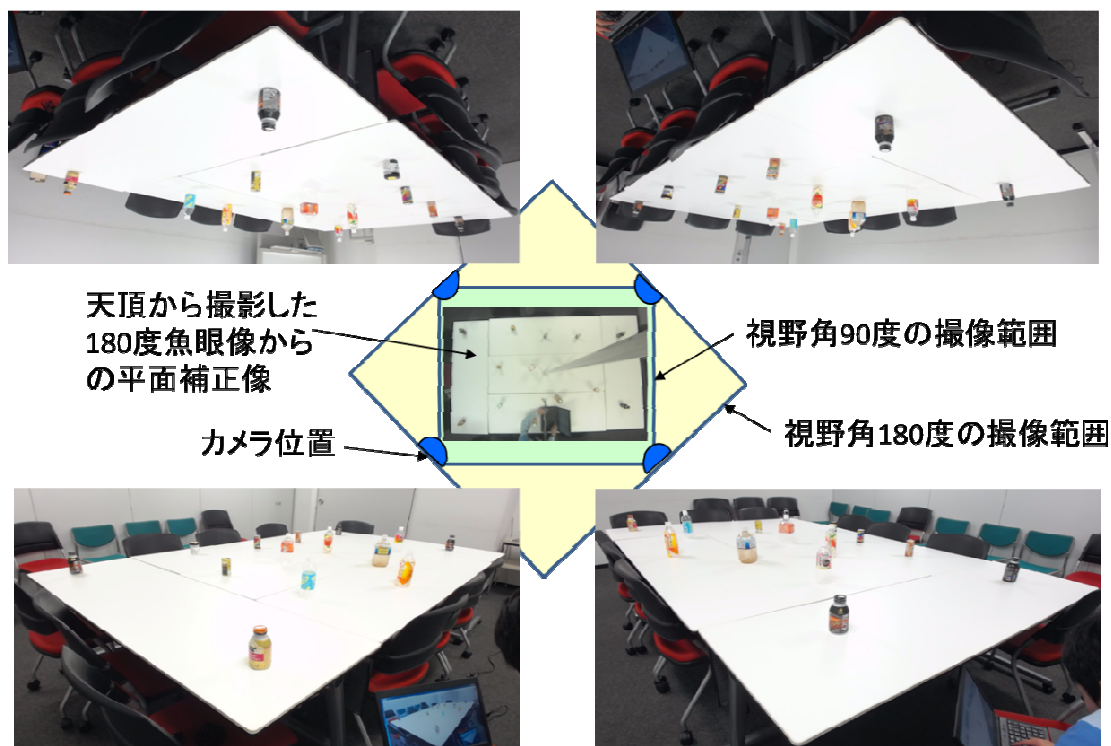


図2 視野角 90 度のカメラで撮影した画像：四隅方向から撮影して死角をなくす。図の中央部は、長方形を仮定した監視範囲において配置されたカメラがカバーする視野角とその範囲。

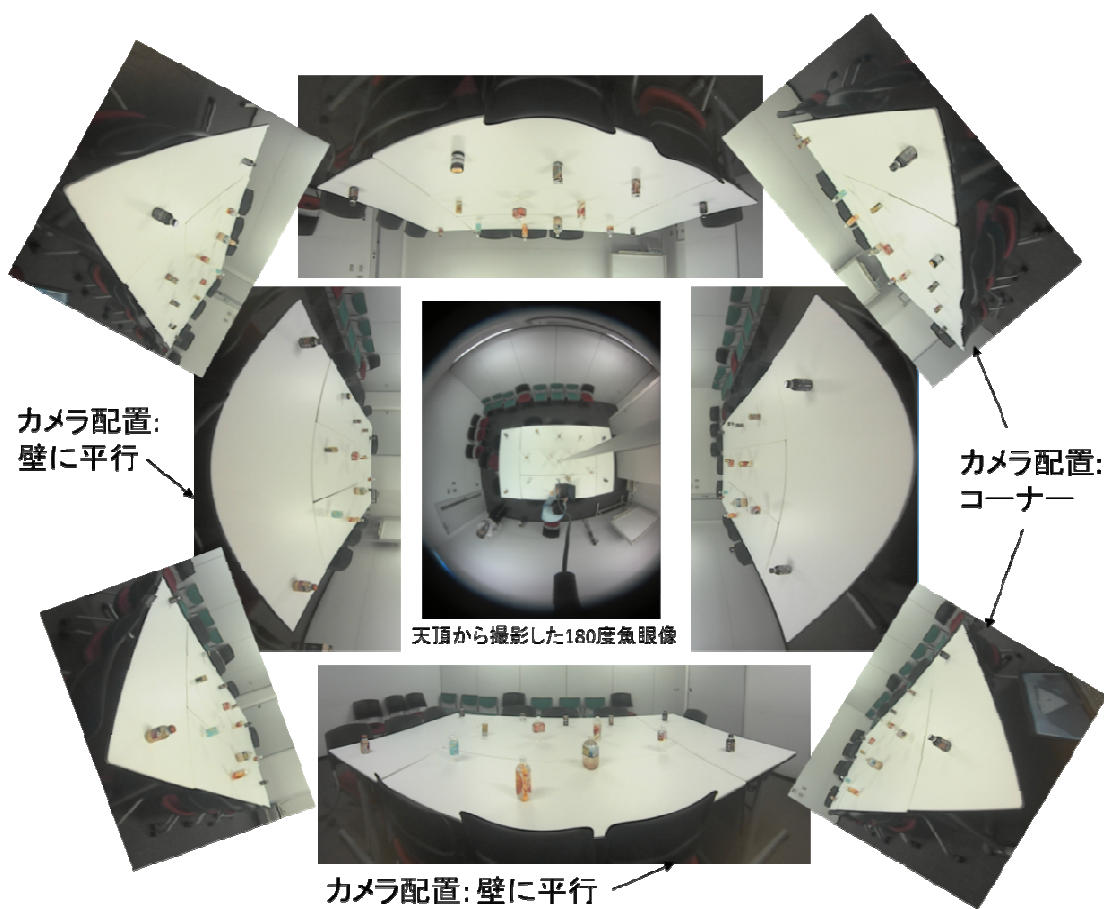


図3 視野角180度の魚眼カメラで撮影した画像: 四隅から撮影した場合と壁に平行に四方向から撮影した場合。図の中央部は、魚眼カメラで天頂から撮影した様子。

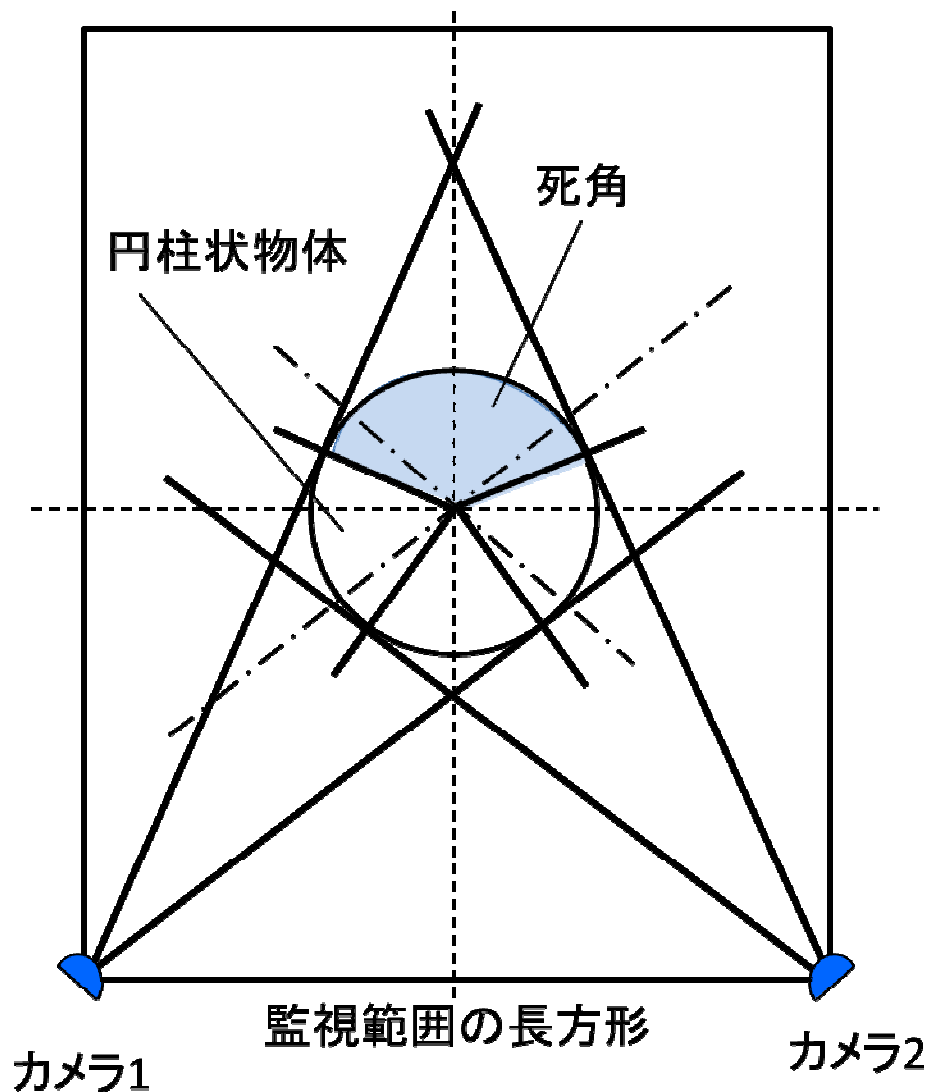


図4 カメラ配置と被写体(円柱)のオクルージョン

3. 画像の歪み補正

図2と図3に示すように、標準カメラ以外で撮影すると、画像が歪みます。図2の視野角90度の広角カメラの場合は、わずかですが歪んでいます。図3の視野角180度の魚眼カメラの場合は、円形状にかなり歪んでいます。それで、標準カメラで撮ったように歪みのない画像に補正変換します。カメラが用いているレンズまたはミラーの入射光線軌跡の幾何モデルがわかる場合、この光線軌跡の逆をたどる(幾何モデルの逆変換を行う)ことによって歪みをとることができます。つまり、図5に示すように、魚眼像を覆う仮想球面の接平面上に魚眼像の一部を逆投影します。よく使われる魚眼レンズの投射像は、入射光線がレンズの中心から等距離に射影される方式のレンズです。それで、

等距離射影の光線軌跡をもつ幾何モデルを用います。ほかにもいくつかの射影方式のレンズまたはミラーがあるので、例えば、周辺付近を詳しく、あるいは中央付近を詳しく撮りたいとかの用途に適した射影方式のレンズまたはミラーを選ぶこともできます。レンズまたはミラーの射影方式の幾何モデルが具体的にわからない場合は、格子模様などの特定パターンを撮影して、歪み具合を測定する必要があります。その歪み補正は測定値に従った対応のため、作業の手間が大変です。そのため、射影方式がわかっているレンズの使用を薦めます。図3の中央部に示す画像は、視野角180度の魚眼カメラを用いて監視範囲の天井側から撮影したものです。その画像歪みを補正して平面化したものが図2の中央部に示した画像です。

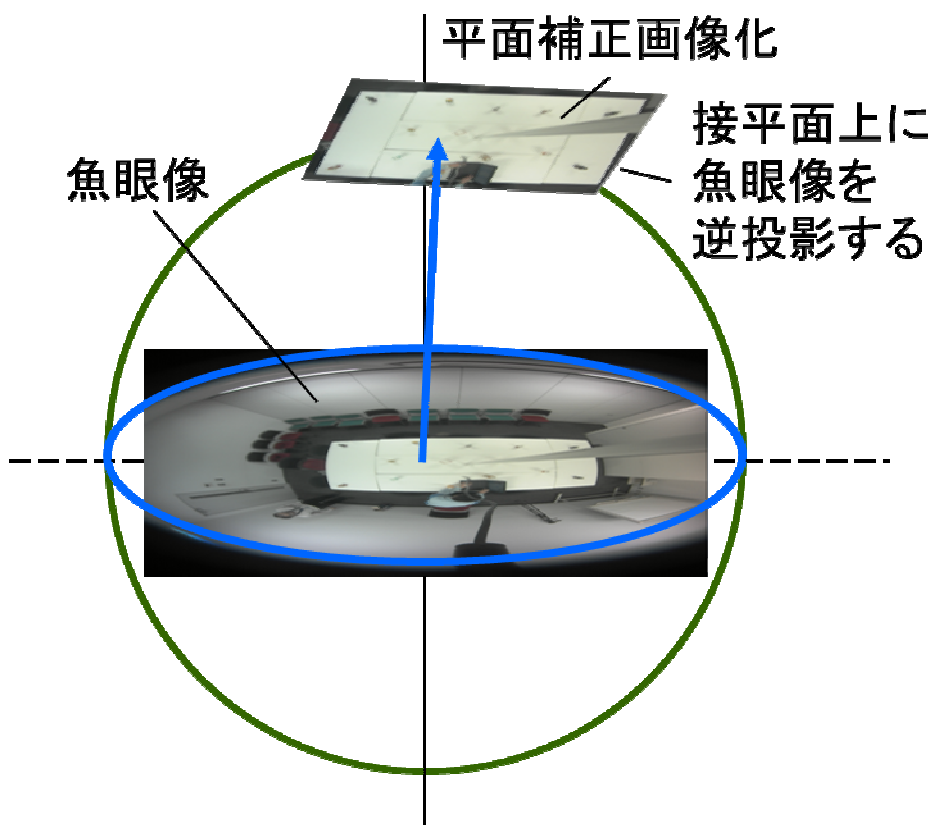


図5 魚眼像を覆う仮想球面の接平面上に逆投影し、平面補正画像化する原理

4. 複数台カメラからの画像の同時表示

複数台のカメラを用いて画像を撮影する場合、これら画像の表示を一箇所にまとめて、できれば見やすいかたちで表示したいことになります。このような例は、車の運転支援のために前後左右4台のカメラを搭載したものがあります。車の周囲全体の様子がドライバーにわかりやすいように車の前面モニタ上にカメラ4台分の画像をまとめて表示

しています。つまり、車の上空から鳥が見ているような視点(バードビューと呼ぶ)で全体を表示しています。工場などにカメラを設置する場合は、車の場合とはカメラの配置が異なり、建屋の四隅に配置することになります。そのため、車の場合には運転者のほぼ視点中心からの4枚の画像が得られますが、建屋の四隅配置の場合は、被写体を4視点から見た4枚の画像が得られます。それら画像の表示をまとめるためには、仮想の球面上に4枚の画像を適当に貼り合わせ縫い付けます。そして、見たい視点を指定することで、その視点から見える被写体画像に座標変換して表示します。見たい部分にオクルージョンがある場合は、別視点方向に設定しなおすことによって、できるだけオクルージョンがないような方向からの画像に変えて表示することができます(図6参照)。

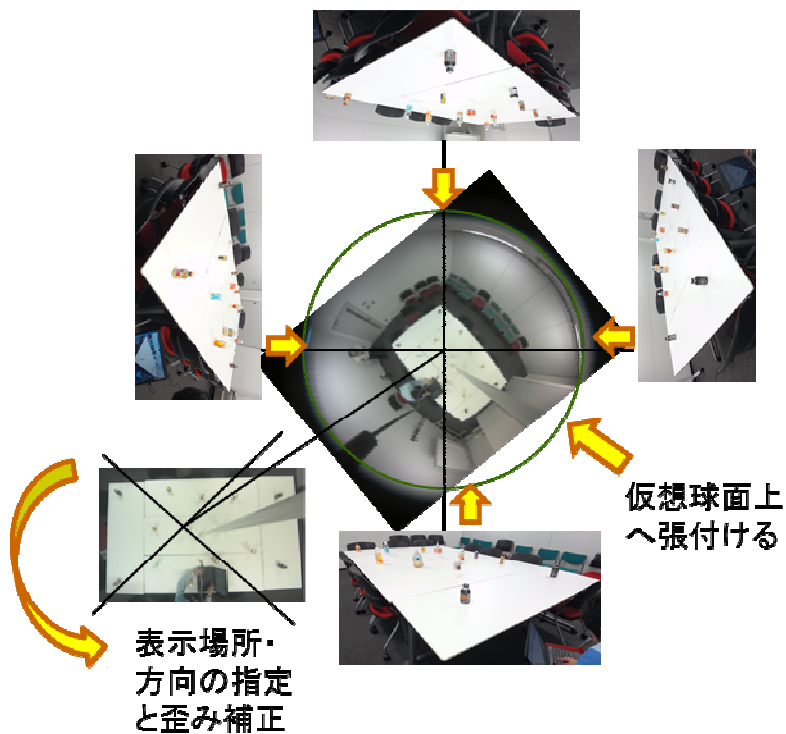


図6 4台のカメラ画像を仮想球面上にまとめて張り付け合成、見たい場所と方向を指定して、歪み補正(イメージ図)。

5. 人などの動きの傾向を見る動線解析

監視目的以外に、物の動き具合を見るために、物が動いた位置(例えば、物の重心をとる)を逐一プロットしながら連ねて重ね書きしていくと、物が動いた軌跡線が得られます。この軌跡線を物の動線と呼んでいます。図7に、2台の魚眼カメラを設置して撮影して得た人の動線例を示してあります。得られた動線を平面配置図にマッピングしな

おして、2台の画像が重複する領域ではスムーズに接続して表示しています。動線解析することで、物が動く範囲を把握できます。また、物が動く範囲があらかじめわかっていたら、その範囲からはみ出したときに異常状態と判断できます。それから、動線解析によって装置類の配置を変更する際の判断材料になります。

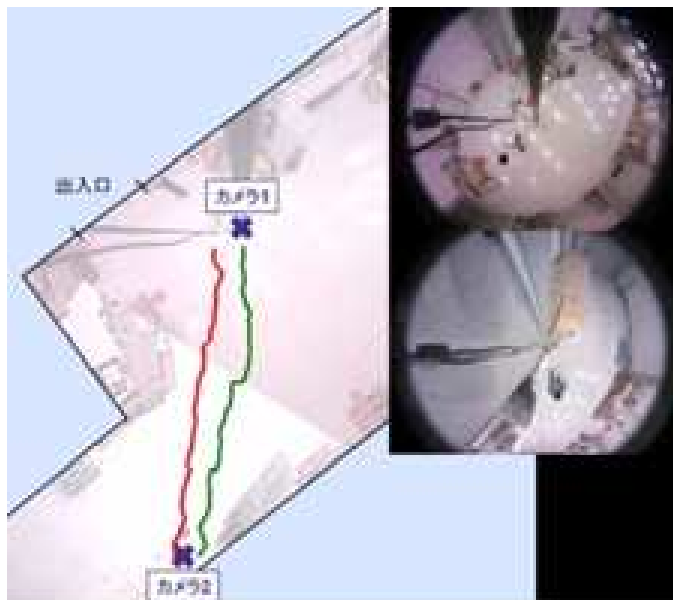


図7 2台の魚眼カメラで捉えた人の動線を平面配置図上に合成マッピング

6. まとめ

工場や作業場内で起きる異常事態や行動をとらえられるよう常時監視するために備え付けるカメラ群とその関連項目について説明しました。監視対象領域を漏らさず、かつ監視対象物のオクルージョンをなくすよう効率的に撮影するカメラの台数および配置方法について議論しました。できるかぎり広範囲をカバーするために、視野角の広いカメラを用いると、逆に解像度を落とすことに注意を促しました。また、対象物のオクルージョンを防ぐには、複数方向からの撮影が有効ですが、完璧なのは無理なので、実用的な4台配置の例を示しました。複数台カメラの画像について仮想球面を用いることによって一箇所にまとめて表示することができ、見やすい位置方向視点からの表示に変換することで監視がやりやすくなることも説明しました。物の動きを把握する動線解析についても説明しました。