

## カメラ付き照明器具と人物検出AI技術による製造現場での改善業務の効率化

Improved Efficiency of Business Operations at Manufacturing Sites Using Camera-Equipped Lighting Fixtures and Human Detection AI Technology

高柳 佳幸 TAKAYANAGI Yoshiyuki 山地 雄士 YAMAJI Yuto

製造現場では、生産性・稼働率・安全性向上のための改善業務が不可欠である。作業状況をハンディーカメラなどで撮影し、映像を目視で分析する手法があるが、映像の確認に時間が掛かって効率が悪い。

東芝ライテック(株)は、既設の照明器具と付け替えることができるカメラ付き照明器具を提供している。今回、天井視点の映像を解析できる独自の人物検出AI技術を応用し、カメラ付き照明器具で撮影した映像をクラウドシステム上で解析する映像解析システムを開発した。これによって製造現場における、安全管理、作業動線の解析、及び製品当たりの作業所要時間(タクトタイム)の見える化が可能になり、改善業務の効率向上を図ることができる。

The improvement of work efficiency at manufacturing sites is essential in order to enhance productivity, operating rates, and safety. On the other hand, methods to visually analyze business operations using images captured by handheld cameras often lead to decreased efficiency due to the considerable time required to manually check such images.

Toshiba Lighting & Technology Corporation has been supplying camera-equipped lighting fixtures that can be installed simply by replacing existing lighting fixtures. In addition, we have now developed a video analysis system that can analyze images captured by these camera-equipped lighting fixtures via a cloud system, applying a proprietary human detection artificial intelligence (AI) technology to process images from the ceiling viewpoint. This system enables users to efficiently promote various improvement activities at manufacturing sites, including safety management, analysis of workflow lines, and visualization of the time required for each operation, or so-called takt time.

### 1. まえがき

工場などの製造現場におけるカメラによるモニタリングは、現場監視の担い手を人から映像解析に置き換えることができるため、製造現場の省人化や安全性の観点から、管理上の有用な手段の一つである。東芝ライテック(株)は、製造現場のモニタリングを目的に、レコーダー一体録画モデルのカメラ付き照明器具ViewLEDを発売してきた。カメラと照明器具の一体化により、既設の照明器具と置き換えるだけで製造現場のモニタリングが可能になり、カメラ設置条件の検討や電気工事に関する手間や時間を抑え、製造現場へのカメラの導入障壁を下げるができる。製造現場において、生産性・稼働率及び安全性向上のための改善業務は不可欠な業務である。製造作業をカメラで撮影し、映像を解析することで作業の無駄などの問題点を抽出する既存の手法は、映像の確認に時間が掛かり、改善業務の効率が低いという問題がある<sup>(1)</sup>。

そこで当社は、カメラ付き照明器具で撮影した映像をAIで解析し、製造現場の改善業務に活用できる映像解析システムを開発した。ここでは、カメラ付き照明器具を用いた映像解析システムの概要、クラウドサーバー録画機能を備えた

カメラ付き照明器具、及び天井視点映像のAI解析技術について述べる。

### 2. カメラ付き照明器具を用いた映像解析システム

開発した映像解析システムの概要を図1に示す。新たに開発したカメラ付き照明器具は、映像をクラウドサーバーに

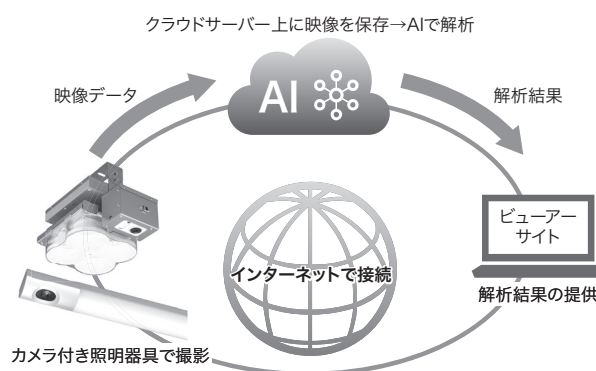


図1. カメラ付き照明器具を用いた映像解析システムの概要

カメラ付き照明器具で撮影した映像をクラウドサーバー上に保存し、AIで解析した結果を提供する。

Overview of image analysis system using images captured by camera-equipped lighting fixtures

送信する機能を備えており、撮影された映像はクラウドサーバーに保存され、東芝グループ独自のAIで解析される。映像の閲覧や解析結果の確認は専用のビューアーサイトを通じて提供される。

### 3. クラウドサーバー録画機能を備えたカメラ付き照明器具

製造現場の照明は工場照明と呼ばれ、作業場全体を一様に明るくする全般照明や、作業者の手元を照らす局部照明などがあり、工場用照明器具は設置される高さに応じて低天井、中天井、高天井に分類される。工場照明の設置高さの分類と使用される器具の例を図2に示す。レコーダー一体録画モデルはLED（発光ダイオード）ベースライトだけであったが、クラウドサーバー録画モデルは作業者の手元の映像から工場建屋全体の俯瞰（ふかん）映像まで、様々な設置条件での映像撮影ができるように、LEDベースライトとLED高天井照明器具の2機種を開発した。

LEDベースライトは、照明部とカメラユニットの断面外側形状を統一し同色仕上げで一体化することで、多数のカメラを設置する場合でも極力目立ちにくくする意匠を実現した。これにより、カメラ特有の威圧感や圧迫感を軽減した。

LED高天井照明器具は、従来の器具にカメラユニットを取り付ける構造とした。また、カメラ駆動用電源供給部と照明用電源供給部は分離し、照明消灯時もカメラだけの動作を可能とした。これにより照明消灯時に発生した工場内でのトラブルを見逃すことなく映像で記録することができる。

レコーダー一体録画モデルでは広角カメラだけであったが、クラウドサーバー録画モデルでは更に広範囲の撮影が

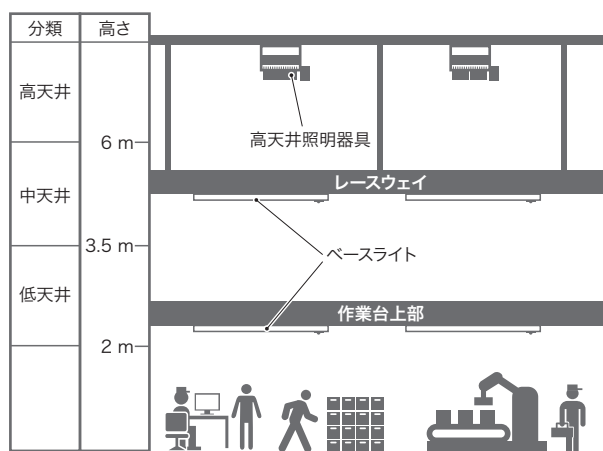


図2. 工場照明の高さと分類

開発したカメラ付き照明器具は、低天井及び中天井で使用されるベースライト器具、及び高天井で使用される高天井照明器具の2種類に対応している。

Installation height and classification of factory lighting fixtures

可能な全方位カメラを追加した。これによりカメラ付き照明器具直下から離れた位置の撮影が可能となった。

### 4. 天井視点映像のAI解析技術

#### 4.1 製造現場の改善業務に有効な映像解析技術の調査

多くの製造現場で改善業務に活用できる映像解析システムを開発するため、製造現場での課題や困りごとを調査し、それらの見える化に適した映像解析方法を検討した。調査は、当社の照明器具製品の主力工場であり、多種多様なLED製品を一貫生産している鹿沼工場で行った。調査の結果、作業の無駄や安全管理に関する内容を中心に、計102件の課題や困りごとが抽出された。そのそれぞれについて、映像解析により見える化する方法を検討して集計した結果、表1に示すように、課題や困りごとの見える化に必要な映像解析方法の上位2件は、人物の検出や動線の解析であり、全体の59%を占めていることが分かった。この検討結果より、映像解析システムでは、映像内の人物を検出し追跡するAIの開発を行った。

#### 4.2 映像から人物を検出し追跡するAI

カメラ付き照明器具を用いて製造現場での人物検出や追跡を行うため、東芝グループ独自のAI技術を応用し、新たに天井視点映像から人物を検出し追跡するAIを開発した。

東芝グループでは、深層学習を用いた独自の人物検出・追跡手法MAFCOS (Multi-scale Attention Fully Convolutional One-Stage Object Detection)を開発している。物体間の空間的な関係性を利用するために、有効な特徴を強調する独自のアテンション構造<sup>(注1)</sup>を導入することで、既存の物体検出手法であるFCOS (Fully Convolutional One-Stage Object Detection)に対して、検出性能を向上させた。また、時間方向にもアテンション構造を追加し、抽出した人物の見た目の特徴量を用いて、フレーム間で同一人物を対応付けることで、高精度に追跡が行える手法を開発している<sup>(2)</sup>。

表1. 工場の課題を見える化する映像解析方法の調査結果

Results of investigation of video analysis methods for visualization of factory issues

映像解析方法	件数	比率 (%)
人物を検出するとアラート発報	38	37
動作や作業の無駄を動線解析から検出	22	22
作業の動作解析によるイレギュラーの検出	20	20
フォークリフトや台車のスピード検知	5	5
その他	17	17

(注1) 深層ネットワークが抽出した特徴量に対して、識別や検出などのタスクに有効な部分を注目するように重み付けをする構造

### 4.3 天井視点映像からの人物検出・追跡

MAFCOSは、主に監視カメラ向けの画像を学習しており、天井視点の画像は学習データには含まれていない。図3に示すように、監視カメラ画角の映像と、天井視点の映像では、人物の見え方が大きく異なるため、従来の学習データを用いた検出モデルでは、天井視点の映像に映る人物を検出できない。

天井視点の映像に検出モデルを適応させるために、工

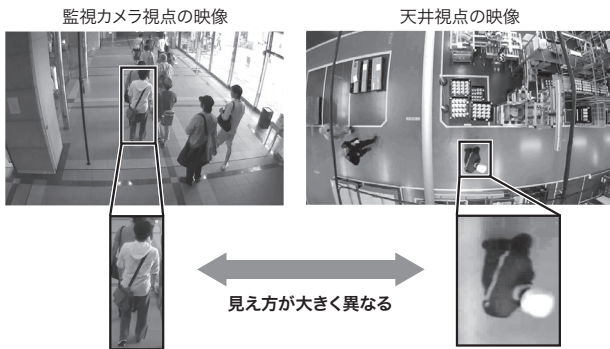


図3. 監視カメラ視点と天井視点での人物の映り方の違い

人物の見え方が大きく異なる監視カメラ視点の画像で学習した検出モデルでは、天井視点の映像に映る人物を検出できない。

Differences in images of person from surveillance camera viewpoint and ceiling viewpoint

表2. 従来モデルと天井視点モデルを使ったAIの評価結果

Results of evaluation of AI using surveillance camera viewpoint and ceiling viewpoint models

評価項目	人物検出 (%)			人物追跡 (%)
	再現率 (未検出の 少なさ)	適合率 (過検出の 少なさ)	F値 (再現率と適合 率の調和平均)	追跡カバー率 (正解軌跡に対する 最も長い出力軌跡の カバー割合)
従来モデル	16.0	87.4	27.0	3.6
天井視点モデル	90.9	94.6	92.7	61.1

図4. 従来モデルと天井視点モデルの検出結果

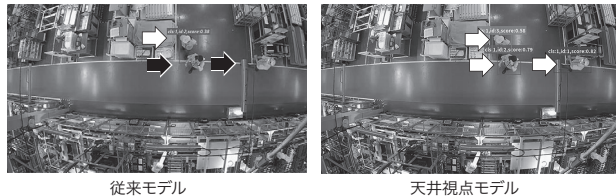


図4. 従来モデルと天井視点モデルの検出結果

監視カメラ視点の画像で学習した従来モデルでは、検出できない人物が多いが、天井視点の画像で学習したモデルでは、正しく検出できるようになった。

Results of detection of persons using surveillance camera viewpoint and ceiling viewpoint models

場や実験室で撮影した11,623枚の画像を収集し、学習を行った。表2に、天井視点映像に適応させる前と適応後の比較評価結果を示す。図4のように、未検出が大幅に減り、より高精度に人物を検出しながら追跡できるようになった。

### 4.4 全方位カメラ映像からの人物検出・追跡

カメラ付き照明器具を用いた映像解析システムでは、広範囲を解析対象とするために、広角カメラ以外にも全方位カメラで撮影された映像も解析対象とする。全方位カメラは広い範囲を撮影できる反面、広角カメラ映像と比べて人物が小さく映るため、検出の難易度は高くなる。

全方位カメラで捉えた映像の端部近傍は、人の目でも人物の存在の判別が難しいため、解析対象外とした。映像中央から70～90%を解析範囲として、画像を切り出して処理をすることで、相対的に人物が大きく映るようになり、検出性能が向上した。解析範囲の限定の有無で比較評価した結果を、表3に示す。図5のように、範囲限定をすることで、人物の未検出が減少することを確認できた。

## 5. 映像解析システムの活用事例

当社で開発した映像解析システムは、“クラウドAI画像解析サービスViewLED Solution”として提供を開始しており、

表3. 全方位カメラ映像の解析範囲限定の有無による評価結果

Results of evaluation of performance using images captured by omnidirectional camera with and without limitation of analysis range

評価項目	人物検出 (%)			人物追跡 (%)
	再現率	適合率	F値	追跡カバー率
範囲限定なし	75.4	98.9	85.5	36.2
範囲限定あり	87.1	92.0	89.5	47.4

図5. 全方位カメラ映像で解析範囲を限定することによる検出性能の向上

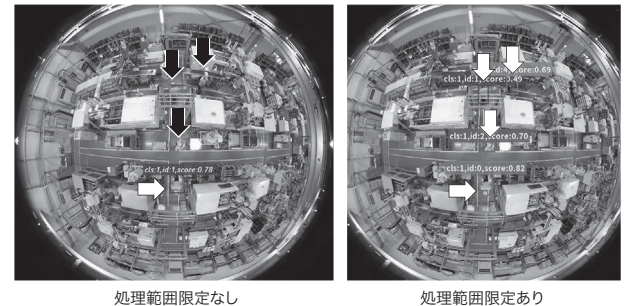


図5. 全方位カメラ映像で解析範囲を限定することによる検出性能の向上

処理範囲を中央付近に限定することによって、人物の未検出を減らすことに成功した。

Improvement in detection of persons using images captured by omnidirectional camera with limitation of analysis range

侵入検知・人流分析・作業分析の三つのサービスを展開している。

侵入検知は、図6に示すように、映像内に侵入検知エリアを設定し、エリア内に人物が侵入した際にアラートを発報する。当社工場では、管理区域及び機械周囲のメンテナンス時だけ立ち入る場所において活用されており、安全管理やメンテナンス頻度の把握に活用している。

人流分析及び作業分析は、作業動線やタクトタイムの見

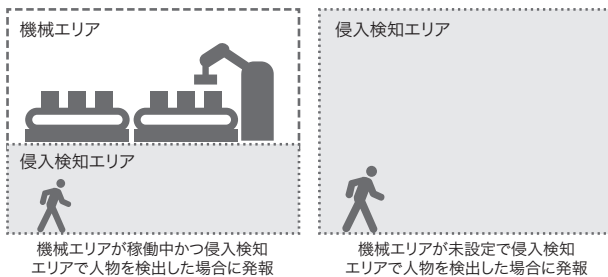
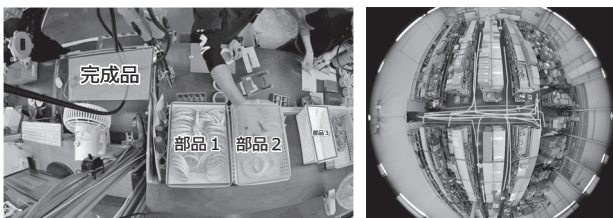


図6. 侵入検知エリアモードと機械エリアモード

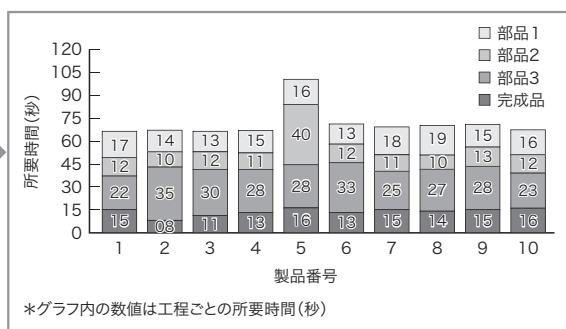
侵入検知では、検知エリアだけを設定するモードと、機械エリアを合わせて設定して機械稼働時の侵入だけを検知するモードの2通りで、アラートを発報させることが可能である。

Intrusion detection area and machine area modes for intrusion detection systems



タクトタイムの見える化

作業動線の見える化



出力グラフの表示例

図7. 人流分析及び作業分析による作業動線とタクトタイムの見える化

人流分析では映像内の作業者の動線解析が可能であり、作業分析では手作業のタクトタイムのグラフを作成することができる。

Visualization of workflow and takt time using people-flow and work analyses

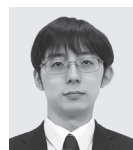
える化が可能であり、生産性や稼働率の向上を目的とした分析作業に利用できる。解析結果は、図7のような画像やグラフで出力され、対象の作業を容易に分析することができる。当社工場においても一部の作業区域で導入されており、映像を確認して作業を分析する従来の手法と比較して、一つの工程を分析するのに要する時間を約80%削減することができた。

## 6. あとがき

開発した映像解析システムは、天井視点映像から人物を検出するAIを搭載し、指定したエリアへの侵入の検知及び作業動線・タクトタイムの見える化により、製造現場の改善業務への活用が可能となった。カメラ付き照明器具の導入により、生産性・稼働率及び安全性向上を目的とした改善業務の効率を向上させることができる。今後、AIの更なる機能向上に取り組むとともに、クラウドAI画像解析サービスのラインアップの拡充へと開発を進めていく。

## 文献

- (1) 日本インダストリアル・エンジニアリング協会. 新人IEと学ぶ実践IEの強化書. 第1版, 日刊工業新聞社, 2021, 208p.
- (2) 小林大祐, 柴田智行. “空間・時系列のAttentionを用いた物体検出と複数物体追跡の同時推定”. 第23回 画像の認識・理解シンポジウム, オンライン開催, 2020-08, 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解 (PRMU) 研究専門委員会, 2020, OS2-2A-2.



高柳 佳幸 TAKAYANAGI Yoshiyuki  
東芝ライテック (株) 技術本部 CPS 開発部  
Toshiba Lighting & Technology Corp.



山地 雄土 YAMAJI Yuto  
研究開発センター 知能化システム研究所  
メディア AI ラボラトリー  
Media AI Lab.