

水域・水際向け監視センサ iLScanner®

iLScanner® the Waterfront Surveillance Sensor

高野 武 寿 技術開発本部プロジェクトセンター開発部 課長
(現 株式会社 IHI エスキューブ 制御システム事業部コンピュータ制御グループ マネージャー)
原田 二郎 技術開発本部プロジェクトセンター企画管理グループ

重要施設では高いセキュリティが必要とされ、厳重な警備が行われている。海に面した施設の水域や水際では目視によって警備されている例があり、疲労によるヒューマンエラーを予防するため、監視の自動化が望まれる。しかし、フェンスなどの障壁を設けられないこと、波や日照変化などの外乱が多いことから、赤外線ビームセンサや画像センサでは、失報や誤報が多く発生するという問題があった。そこでレーザー光を用いて空間を立体的に監視する、水域や水際に適した監視センサを開発したので紹介する。

High-level security is needed in areas with critical infrastructure (e.g. airports, major seaports, and power plants). In particular, the intrusion surveillance of perimeters is very important. However, waterfront perimeters are difficult to survey using automated systems. The iLScanner® is IHI's new waterfront surveillance system. Using advanced laser technology, it captures 3D images of all foreign objects within its range. Since the iLScanner® uses 3D information instead of image movement or contrast, objects can be detected even in cases of a changing background, such as moving trees or waves. As it is a fully automated system, it reduces the need for constant human supervision, thereby reducing the risk of the non-detection of intrusion

1. 緒 言

空港、港湾、電力関連施設などの重要施設では高いセキュリティが求められる。当社では、海に面して立地している施設の水際部分や、施設前面の水域における監視の自動化を実現するため、新たな監視センサの開発を進めてきた。

重要施設では外周を中心に厳重な警備が行われている。これら施設の警備では、① 侵入の検知 ② 対処の要否判断 ③ 侵入行為への対処、の三段階からなる警備手順を計画し実施することが基本になる。

侵入に対処する時間的余裕を確保するため、十分な広さをもった制限区域を設定し、制限区域の外周にフェンスなどの障壁（以下、物理的障壁と呼ぶ）を配置して人の出入りを制限するとともに、フェンスの近傍に侵入を検知するセンサを配置して監視を行うことが一般的である。

しかし、船舶に対する荷役作業を目的とした岸壁など海に面した施設では、荷役の支障となるフェンスやセンサ類を設置できない。また船舶を用いた侵入に対処する場合は、外周部が水上に位置する必要があるため、フェンスやセンサ類が設置できない。このため水域や水際では、陸上に配置した監視カメラで制限区域外周を撮影し、その映像を監視員が常時目視する警備体制が取られることが多い。

目視による警備を行った場合、疲労による注意力の低下

などのヒューマンエラーによって侵入を見落とす恐れがあり、重要施設のセキュリティを低下させる一因となる。この問題を解決するため、自動で侵入検知を行えるセンサの開発が求められている。

本稿では、この要望に応じて開発した新型監視センサ iLScanner® (IHI Long-range Scanner) を紹介する。

2. 水域・水際向け監視センサの製品企画

水域や水際において自動で侵入検知を行う新型監視センサ iLScanner® の開発に当たって、前項で述べた要求を踏まえ、以下のとおり製品コンセプトを設定した。

- (1) 障壁を設置できない箇所でも性能を発揮する。
- (2) 侵入を自動で検知する。
- (3) 検知物を拡大撮影し、監視員による目視判断を補助する。

これに従い、第1表に示す開発目標を設定した。

各目標の設定の経緯については、以下で詳しく述べる。

2.1 確実な検知の実現

水域や水際では物理的障壁が活用できないため、iLScanner® に以下の機能をもたせた。

2.1.1 侵入見落とし（失報）の防止

物理的障壁を設けた場所では、一般的に、① 赤外線ビームセンサ ② テンションセンサ ③ 振動センサ、など

第 1 表 開発目標のまとめ
Table 1 Target development specifications

目 標	内 容
確実な検知の実現	・ 見落としがなく検知可能であること。 ・ 侵入者以外を誤って検知しないこと。
検知の自動化	・ 光の影響を排除できること。 ・ 侵入者と背景物の見分けが容易であること。 ・ 周辺物の影響による検知漏れがないこと。
目視確認の補助	・ 監視員が目視確認できるよう、侵入を検知した場所をカメラで拡大撮影すること。
その他	・ 自身の足元から制限区域の外周方向に 300 m まで 1 台で監視できること。 ・ 人体に悪影響がないこと。

が監視に用いられる。

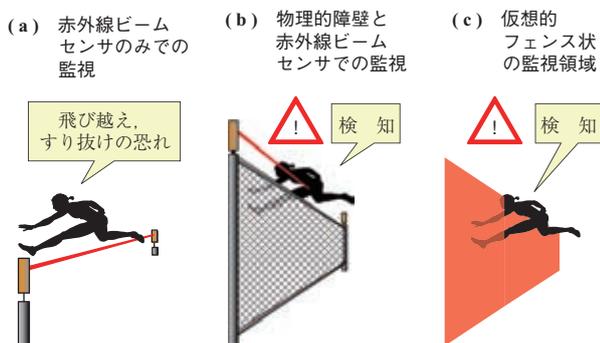
技術の詳細は省くが、赤外線ビームセンサ、テンションセンサは線状の監視範囲をもち、そこに侵入した人や物体を検知する。物理的障壁のない場所に設置した場合には、容易に監視範囲をすり抜けることができるが、障壁の上端部分にセンサを設置することによって、ここを乗り越えるときに監視範囲に入らざるを得ない状況として、失報の発生を防止している。

一方、振動センサは金網状のフェンスの面全体を監視範囲とし、フェンスへのよじ登りを検知することで失報を防止する。いずれも物理的障壁との組合せで運用しているが、iLScanner® では、レーザ光を走査し垂直かつ平面状の仮想的なフェンスによって監視を行う。第 1 図に垂直かつ平面状の監視領域の配置イメージを示す。

2.1.2 誤った検知（誤報）の抑制

各種監視センサは一般に、失報と、侵入者以外のものを誤って検知する（以下、誤報と呼ぶ）ことを、低減させるよう設計されている。しかし、実際に運用した場合には周囲の環境条件がさまざまに変化することなどから、失報と誤報の双方を完全になくすことは難しい。

この問題を改善するため、侵入者を検知した状態が一定時間以上続いた場合に、初めて侵入者ありとみなす運用が



第 1 図 垂直平面状の監視領域の配置イメージ
Fig. 1 Perpendicular planate surveillance area

有効である。検知した状態を一定時間以上継続させるためには、物理的障壁によって侵入行為を遅滞させることが望ましい。しかし、物理的障壁が設置できない場所においては、遅滞が期待できないため、ほかの手段で代替することが必要になる。

iLScanner® では、侵入経路の方向に、監視範囲の幅をもたせることによって、幅方向に一定以上の大きさのあるもののみ検知することで、誤報と失報の改善を図った。第 2 図に誤報抑制のための監視範囲拡大イメージを示す。

2.2 検知の自動化

2.1 項の考え方に沿った立体的な監視範囲をもち、かつ侵入を自動検知可能な監視方法を検討した。

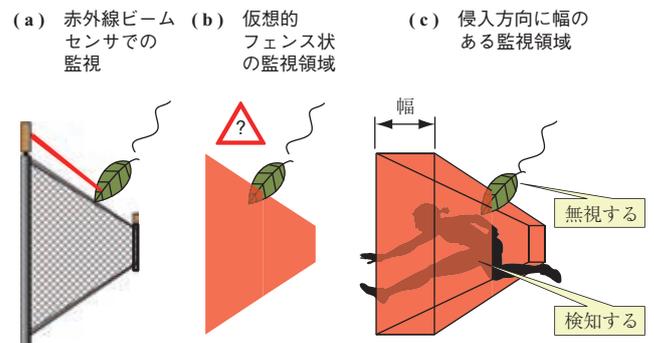
立体的な監視範囲をもつセンサとしては、① 監視カメラの映像をコンピュータ処理することによって侵入を検知する画像センサ ② レーダの技術を応用したマイクロ波センサ、などが知られている。しかし、屋外で用いる場合には、風による周囲物体の揺れを侵入者と間違えるなどさまざまな要因で誤報が寄せられることがあり、これらの問題を解決することが課題になる。

iLScanner® では、周囲の物体と侵入者を区別しやすいよう、奥行き情報を用いて物体を把握する方式を採用し、安定した侵入者検知を実現した。この内容を以下で詳しく述べる。

2.2.1 光の影響の排除

屋外で監視を行う場合は、昼夜での明るさの違いや逆光などの影響を受けず機能することが必須である。画像センサのように光を用いて情報を得る装置の場合、夜間の運用には照明装置が必要であるが、周囲の作業灯の影響などによって照度ムラが発生し画質が安定しない場合がある。第 3 図に周囲の照明で監視カメラ映像に支障が生じた例を示す。

iLScanner® では自身で光を発して監視を行うので、周囲の光の影響を受けず安定した監視を行うことができる。



第 2 図 誤報抑制のための監視範囲拡大イメージ
Fig. 2 Expansion of the surveillance area to reduce false reports



第3図 周囲の照明で監視カメラ映像に支障が生じた例
Fig. 3 Surveillance camera image with a lighting problem

2.2.2 侵入者と背景物の見分け

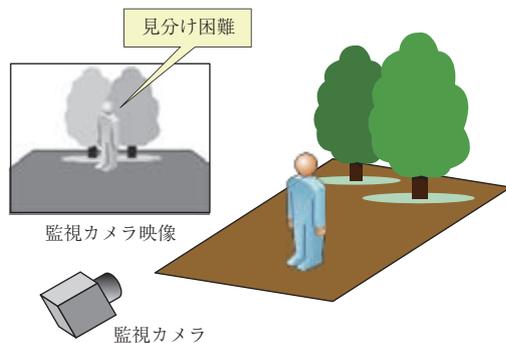
画像センサは立体的な監視範囲をもつものの、カメラで撮影した平面的な映像を用いて侵入検知を行うため、奥行き情報を得ることができない。映像中の変化・動きの有無によって侵入が検知されるが、たとえば、遠方の植栽など背景物が揺らいでいる環境でその手前を侵入者が横切った場合、揺らぎと人の動きをコンピュータ処理で見分けることは困難である。第4図に画像センサによる監視のイメージを示す。このため、高度な計算に基づいた判定処理が必要になる。

高度な計算が必要ということは複雑な調整が求められ、環境状況の変化によって検知性能が影響を受けやすい。

iLScanner[®]では、変化や動きによらず物体を検知する手段として、奥行き情報をもった三次元計測手法を採用した。三次元情報からは物体の位置が把握できるため、より簡易な判定処理で侵入者と背景物の見分けが可能であり、コンピュータによる自動化に適している。

2.2.3 周辺物の影響による失報の抑制

奥行きを含む情報を把握可能なセンサとして、船用レーダなどのレーダ装置が挙げられる。一部のマイクロ波センサではレーダと同様の原理で照射したマイクロ波（電波）が物体に反射して戻ってくるまでの時間を計測することに



第4図 画像センサによる監視のイメージ
Fig. 4 Difficulty of surveillance using image sensors

よって、奥行き情報を把握可能なものも存在する。

しかし、電波を用いた計測方法では、上下・左右方向の分解能が粗く、侵入者の周囲に存在する物体の影響を受けやすいという問題が生じる。

さらに海上での監視では、侵入物の周囲の波浪が電波を反射する場合があります。これがノイズ成分となって検知したい物体の情報が埋もれてしまい、失報が発生する恐れがある。

iLScanner[®]では電波に代えてパルス状のレーザ光を照射し戻り光の時間を計ることで、奥行きを把握する方法を採用した。レーザ光は電波に対して直進性が強いことから、より小さい物体まで検知可能な高い分解能をもった三次元計測が可能になる。また、電波関連の法規による規制を考慮しなくてよいという、運用上の利点がある。

2.3 目視確認の補助

iLScanner[®]では、遠隔操作によって旋回と拡大動作が可能な監視カメラを付設し、侵入を検知した箇所を自動的に拡大撮影するとともに監視モニタ上に表示する構成とした。監視員はiLScanner[®]が発するアラーム鳴動音に従って、拡大表示されたカメラ映像を確認するだけでよい。ため、常時モニタを注視する負担から解放される。

2.4 その他の要件

監視センサの監視範囲は、制限区域の外周をカバーするように配置される。センサ1台当たりの外周の延長方向の監視範囲が短いと多数のセンサを並べて設置する必要が生じ、据付けや配線に掛かる費用が増大する。また、岸壁などに配置する場合には荷役や係船に支障を及ぼす恐れもある。

このため、荷役岸壁1バース（船1隻分）を300mと想定し、1台で外周の延長方向に300mをカバーすることを目標仕様として設定した。

iLScanner[®]は地上に立てた柱の上に設置して使用する。またレーザ光源を使用するに当たり、特別な対策をとらずに安全に使用できるよう、国際規格に準じたJISの安全基準を満たす仕様にした。

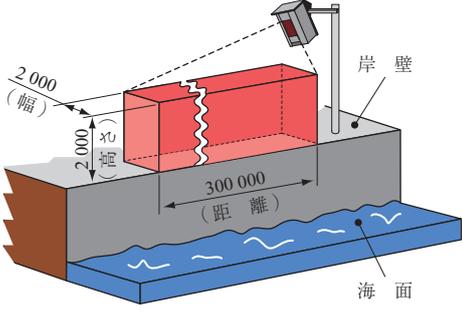
3. iLScanner[®]の開発

2章に挙げた要件に従い、iLScanner[®]を開発した。本章では、本装置の概要を紹介する。

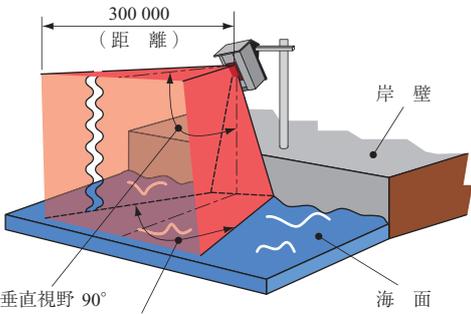
本センサは水際からの侵入者を自動検知する水際監視モードと、重要施設前面の水域における不審船の自動検知を目的とした水域監視モードを備えており、警備の運用に合わせていずれかを選択して使用することができる。

各モードの諸元を第2表、第3表に示す。

第2表 水際監視モードの諸元

項目	仕様
監視範囲	 <p>岸壁 海面 (注) 単位:mm</p>
検知対象	人
検知速度	1 s

第3表 水域監視モードの諸元

項目	仕様
監視範囲	 <p>岸壁 海面 垂直視野 90° 水平視野 40° (注) 単位:mm</p>
検知対象	小型船など
検知速度	2 s

3.1 iLScanner® の装置構成

はじめに iLScanner® の装置構成を紹介する。iLScanner® は、センサ部、カメラ部、制御部、監視モニターによって構成される。

センサ部によって監視領域を三次元計測し、このデータから制御部が侵入者の有無とその位置を自動検知する。制御部は検知した位置を拡大撮影するよう、カメラ部に指令を与え、カメラ部で撮影された拡大映像が監視モニターに表示される。

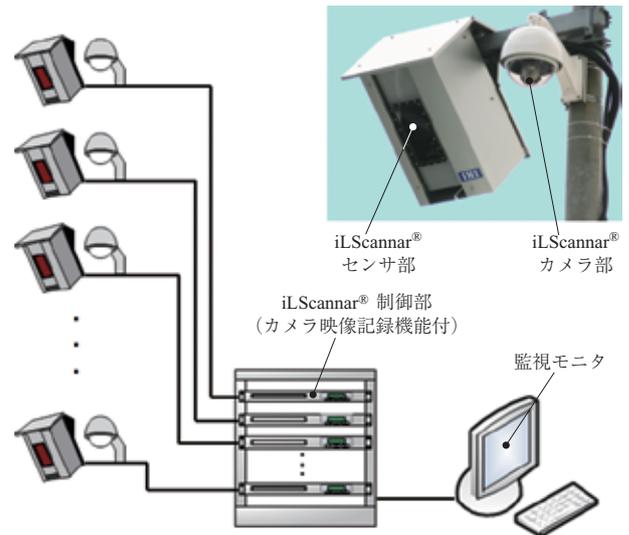
監視員は、常時監視モニターを注視する業務から解放され、拡大映像によって侵入行為の有害性の判定を行うことに専念することで、より確実な監視を行うことが可能になる。

第5図に、iLScanner® の構成を示す。

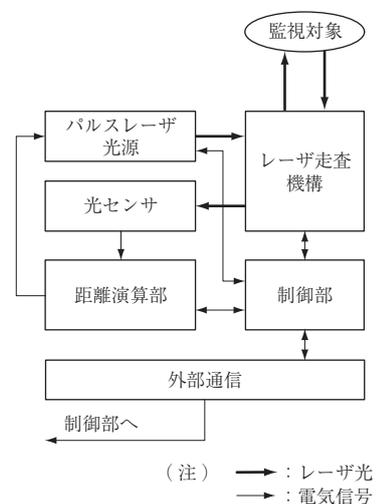
3.2 センサ部

iLScanner® のセンサ部の機能構成を第6図に示す。

レーザ走査機構を介して、パルスレーザを監視対象の領



第5図 iLScanner® の構成
Fig. 5 iLScanner® system configuration



第6図 iLScanner® センサ部の機能構成
Fig. 6 Block diagram of iLScanner® sensor unit

域に照射し、反射した戻り光を光センサーで受光する。パルスレーザの照射から受光までの時間を計測し、距離演算部で時間から距離を算出する。

レーザ走査機構によってパルスレーザの照射方向を順次変化させ各部の距離を計測することで、監視対象領域全体の三次元情報を得る。走査の角度範囲および速度は変更することができ、監視範囲の広さと検知対象物の大きさに合わせて設定する。水際監視モードと水域監視モードは、この設定の変更によって切り替えることができる。

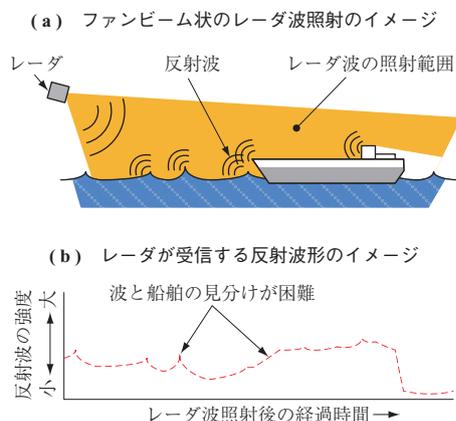
300 m の監視範囲をカバーするためには、遠方まで到達する光強度をもつレーザ光源が必要である。しかし、レーザの強度を高めると、人体に悪影響を及ぼす場合がある。このため iLScanner® では、人の眼への害が少ないアイセーフ波長帯のレーザ光源を採用した。

この結果、JISの安全基準で「合理的に予見可能な運転状況下で安全である」とされるレーザクラス1を達成し、人が往来する場所でも安全に使用できるセンサにした。

第7図にレーダによる距離計測のイメージを示す。レーダの電波照射形状は扇型の垂直断面をもつシート状（以下、ファンビーム（第7図-(a)）と呼ぶ）である。

第8図に iLScanner[®] による距離計測のイメージを示す。iLScanner[®] ではレーザの照射形状を線状のペンシルビーム（第8図-(a)）とした。

ファンビームでは一回のレーダ波照射で下方から前方までをカバーできるため、水平方向のみの走査で監視対象領域全体を計測することができる。しかし、小型船舶など小型の物体が波間に存在し、さらに波と船舶の位置関係が近い場合に両者の反射波が重なり合ってしまう、波と船舶の分別が困難となる場合がある。



第7図 レーダによる距離計測イメージ
Fig. 7 Signal shape of range finding using radar

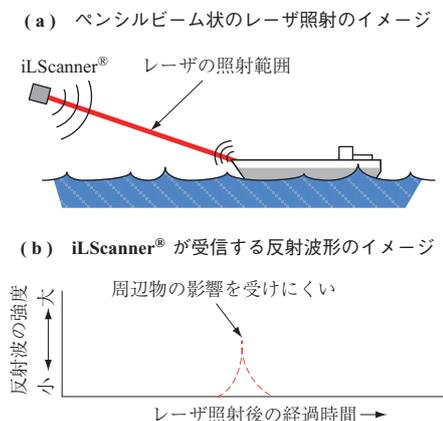
一方のペンシルビームでは、一回の照射で波か船舶のいずれか一方からの反射波しか返ってこないことから分別が容易になる。その一方で、下方から前方までの範囲をカバーするためには垂直方向にも走査する必要があり、レーザ走査機構に垂直・水平の二方向の走査軸を具備する。

3.3 制御部

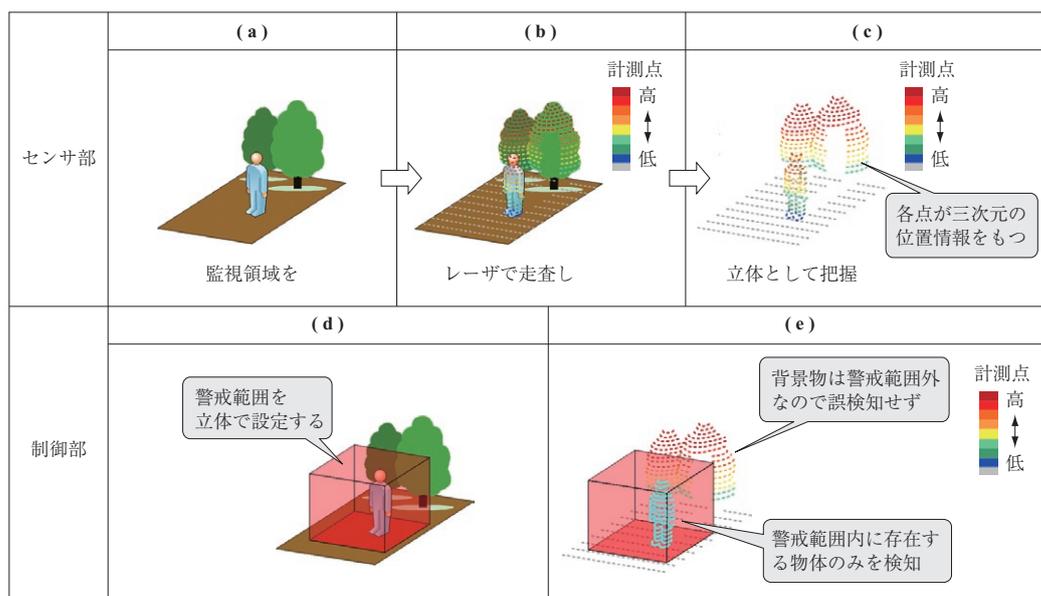
第9図に制御部による侵入検知処理の概要を紹介する。

iLScanner[®] センサ部は監視対象領域全体（第9図-(a)）をレーザ光で走査し（-(b)）、計測点の集合体として把握（-(c)）する。各計測点は、縦、横、奥行き方向の位置情報をもっている。

制御部ではあらかじめ、地面などの平面を基準とした座標系において監視範囲を立体で設定しておく（第9図-(d)）。監視を実行する際は、センサ部から得た計測点の位置情報を、地面などの平面を基準とした座標系に変



第8図 iLScanner[®] による距離計測イメージ
Fig. 8 Signal shape of range finding using iLScanner[®]



第9図 制御部による侵入検知処理
Fig. 9 Intrusion detection procedures using iLScanner[®]



第 10 図 監視モニタの表示例
 Fig. 10 Image from video assessment monitor

換したうえで、各点の位置が監視範囲に含まれるか否かを判定する（第 9 図 - (e)）。

映像の変化や動きの有無ではなく、位置情報によって直接物体の有無を判定するため、失報や誤報の少ない自動検知が可能である。たとえば背景物など監視範囲外の物体は、座標が範囲外であるという簡単な判定で除外可能であ

り、誤報の発生を防ぐことができる。

3.4 カメラ部および監視モニタ

第 10 図に監視モニタの表示例を示す。カメラ部で撮影した監視対象領域全体の映像が表示される（第 10 図 - (a)）。センサ部によって侵入が検知された場合には自動的に拡大撮影される（第 10 図 - (b)）。

侵入者が拡大表示されることから目視での判断がしやすく、習熟を要する監視カメラの遠隔操作も不要であることから迅速な対応が可能になる。

4. 結 言

これまで自動化が困難であった水域や水際の監視に対応する監視センサ iLScanner[®]を開発した。画像センサなど従来の監視センサでは、波や風、日照の変化など外乱の影響で失報や誤報が発生することが課題であった。iLScanner[®]ではこれらの課題を解決し、安定した自動監視を実現した。以上の結果、監視員の注意力に依存しない監視が可能になる。

各地でテロや紛争が頻発する昨今の世界情勢を受け、我が国においても、今後ますます重要施設の警備の重要性が高まるものと考えられる。

iLScanner[®]は重要施設の安全性向上に貢献するものと強く確信している。