

医療・警備分野に見る遠隔操作技術と5G

中村 尚樹

はじめに

2020年は5G元年と呼ばれる。5Gは“5th Generation”、第5世代の略で、「ファイブジー」と読む。何が5世代目かと言えば携帯電話の通信規格のことで、正式には「第5世代移動通信システム」である。その前には当然のことながら、第1世代から第4世代がある。ここで4Gまでの歩みを簡単に振り返っておくことにする。

日本で1Gがスタートしたのは、いまから40年以上前の1979年12月である。NTTの前身である電電公社・日本電信電話公社が東京23区でサービスを開始した。当時は「携帯電話」ではなかった。重さが7キロもあったため携帯することができず、自動車に搭載される「自動車電話」として登場した。当初は社用車や一部のタクシー、ハイヤーなどにしか搭載されなかった。1985年にはショルダーホンが登場した。重さが3キロとなり、肩にかけて車外に持ち運ぶことができるようになった。小型化が進んで「携帯電話」1号機の登場は、1987年のことである。それでも重さは約900グラムもあった。

2Gの登場は1993年。それまでは音声をそのまま信号として伝達するアナログ方式だったが、音声を0と1のデータ列に変えて伝達するデジタル方式に変更された。デジタル化のメリットは、音質の劣化が起きにくいこと、通信状態が不安定な環境の通話でも音声クリアになったことだ。その後、データ通信サービスが容易になり、ショートメッセージや電子メールが使えるようになった。1999年にはNTTドコモがインターネットの接続サービスとしてiモードを開始した。一時は人気を博したPHSも、第2世代である。

続く3Gは、それまで国や地域によってバラバラだった通信規格を統一しようと、国際標準規格に準拠した通信システムである。NTTドコモは2001年に、世界初の3GサービスとしてFOMAの提供を始めた。通信端末のPDAが普及したのもこの世代だ。

2008年にはiPhoneが、2009年にはAndroid携帯が登場した。

2010年にはNTTドコモが、4GであるLTEと呼ばれる高速大容量の通信サービスを開始した。第4世代はスマートフォン（以下、スマホ）の時代と言ってもいい。この時点で通信速度が、当初の10万倍となり、ユーチューブなど動画共有サイトが人気となった。

そして5Gである。アメリカと韓国では2019年4月にサービスが始まった。同年5月にはイギリスやオーストラリアで、11月には中国でも運用が始まっている。

一方国内では、NTTドコモ、KDDI、ソフトバンク、それに楽天モバイルの各社に全国免許が交付され、NTTドコモが2020年3月にサービスを開始したのを手始めに、携帯各社が順次5Gに乗り出している。各社に対する国の免許交付に際しては、全国での利用を可能とするため、2022年3月末までに全都道府県で5G通信サービスを提供すること、さらに2024年4月までには5G基盤展開率（全国を10キロ四方のメッシュで区切った際のカバー率）を50%以上にすることという条件が課されている。

5Gにはこのほか、企業や自治体などが工場など一定の敷地内でのみ利用可能なローカル5Gもある。

では5Gになると、どう変わるのか。高周波帯の活用や、アンテナ技術の進化などにより、「超高速大容量」、「超低遅延」、そして「多数同時接続」が可能になる。いまのスマホの性能でも私たちの生活には十分すぎるように思われるのに、なぜそんな高性能が必要とされるのかといえば、情報量が莫大に増えるIoT時代に必要不可欠なインフラ技術として期待されているからである。

それぞれ簡単に説明すると、初期には以下のすべてが達成されるわけではないが、通信速度は最大毎秒20ギガbpsで、4Gの20倍となる。例えば2時間の映画なら3秒でダウンロードでき、ゲームはいっそう迫力ある体験ができるようになる。無線区間の伝送遅延は1ミリ秒で、4Gの10分の1となる。これにより高度な遠隔操作が可能となり、自動運転やロボット操作で、タイムラグのない正確なオペレーションができるようになる。そして同時接続は1平方キロあたり100万件で、4Gの10倍となる。スマートフォンだけでなく、自宅や街頭のあらゆるものがインターネットに接続できるようになる。

5Gの技術を利用して、家庭では多くの電化機器を、また工場では多数の機械をインターネットで簡単に操作できるようになる。情報量の多い4Kや8Kの動画を手軽に利用できるようになる。バーチャルショッピングでは服をバーチャル試着でき、eスポーツでは世界のプレイヤーと対戦が可能となる。自動運転や自動配達ロボットは現実性を増す。ロボットを活用したスマート農業も成長が期待されている。その一方でセキュリティや健康など、安全性に対するリスクも増えるのではないかと懸念もある。

本稿では、5Gの利用で急激な進化が期待されている遠隔操作技術を取り上げる。まず遠隔医療、次に警備ロボットを検討し、5Gの可能性を検討したい。

移動型高度手術室

2020年1月、東京ビッグサイトでNTTドコモの大型イベント「DOCOMO Open House 2020」



(1) モバイルSCOTの実車。(2020年1月、DOCOMO Open House 2020)

が開かれた。会場では、注目の5Gをはじめ、デジタルマーケティングなど、15のテーマ別に、多くのパートナー企業とコラボした最新の研究開発やサービスが約240件紹介された。中でも、ひときわ目をひいたのが、大型バスのような箱型ボディを搭載した、20トン積みの大型トラックだ。車体の大きさは、長さ12メートル、横幅2.5メートルで、道路交通法で許容された大型車の規格限度まで目いっぱい使っている。これが、実物大の手術室を実車内に再現した「モバイルSCOT」だ。模型の展示はこれまでもあったが、実車による展示は今回が初めてのことである。

トラックの荷台内部にしつらえられた手術室の中心には手術台が置かれ、上部には、手術で影が生じないようにする无影灯が備え付けられている。一番奥には70型の8Kモニターが置かれ、見るからに最先端の手術室らしい雰囲気だ。高性能の超音波診断装置と、ベッドサイドモニター、それに8Kの内視鏡も備え付けられている。後部のドアを開けて、別のトラックに搭載したMRI＝磁気共鳴断層撮影装置も連携して使える仕組みになっている。

SCOTは東京女子医科大学が主導して開発した、高い治療精度と安全性を持ち、「モノのインターネット」と呼ばれるIoT技術を活かしたスマート治療室だ。治療室内の様々な医療機器をパッケージ化、およびネットワーク化した上で、時刻同期した検査診断データを情報化することで、治療の進行や患者の状態を総合的に把握できるようにしている。詳しくは後述する。

医療法施行規則では、手術室の広さについて具体的な規定を設けてはいないが、最低でも執刀する医師、麻酔科医、看護師など数人が入室することになる。麻酔器や電気メスの他にも、内視鏡手術では専用のモニターが必要となり、人工心肺や顕微鏡が必要となる手術もある。最



(2) モバイルSCOTの内部

近では手術支援ロボットやナビゲーションシステム、血管撮影装置など、大型の専用機器が使われる手術も多い。加えて清潔な手洗い設備も必要である。

NTTドコモ5Gイノベーション推進室担当課長の南田智昭は、「手術室の広さは一般的に、約7メートル×7メートルが最小とされています。しかしトラックでは横幅7メートルも絶対取れません。そこで、この空間で何ができるのか、これから具体的に検証していくことにしています」と話す。モバイルSCOTでどのような治療が行われるかによって、必要とされる医療機器も変わってくるが、どのような機器が入っても対応できる発電機を搭載している。

NTTドコモでは5G時代を見越して、5Gイノベーション推進室担当部長の奥村幸彦が中心となり、医療の分野で5Gを活用できないかと検討を重ねてきた。奥村は、モバイルSCOTの意義を、次のように語る。

「高齢化に伴い、医療機関の利用者が増加する一方、地域における医師の不足や医療格差、さらに近年頻繁に起こる大規模災害への対応などが社会課題となっています。そういう状況が起きているなかで、こうしたクルマがリーズナブルなコストで普及していくと、例えばふだんは定期診療のような形で各地を巡回し、一方で災害など有事の際には、病院機能を果たすことができます。あるいは病院が被害を受けたとき、バックアップできる体制があると安心感があります。それをぜひ、モバイルネットワークを活用してできるようにしたいと思います」

術中MRIの導入

モバイルSCOTの根幹である“遠隔スマート治療支援システム”を主導しているのが、東京女子医科大学先端生命医科学研究所副所長の村垣善浩教授を中心としたチームである。

1962年生まれの村垣は、医学部の学生時代にバドミントン部の主将を務めたスポーツマンでもあるが、同時に生物が好きで、顕微鏡を覗くことにも興味を持っていた。脳神経外科の道に進んだ村垣は、アメリカの大学留学を経て、東京女子医科大学脳神経外科の医局長に就任した。そこで取り組んだのが、MRIを手術中に使いながら、病巣の切除を行う手術だ。

特に、正常な組織との境界が不鮮明な悪性脳腫瘍の場合、正常な部分まで傷つけてしまうと、運動障害や失語症などの後遺症が起きる恐れがある。逆に手術の安全性を優先しすぎると、再発の可能性が高まる。通常、手術前にはMRI画像を撮るのだが、開頭などの手術操作を行うと、画像と実際の患部にズレが生じるため、その見極めは、医師の経験に頼る部分が大きかった。しかし手術中にMRIを使えば、その境界をずれることなく、リアルタイムで液晶画面にはっきりと映し出すことができる。このように手術中にMRIを行う「術中MRI」が、1993年にアメリカで開発された。ただしMRIは強い磁場が生じるため、それに対応した手術台や手術機器の準備が必要となる。MRIもそれまでのドーナツ型から、磁力が弱くなるものの、操作が容易で時間も短縮されるオープン型が開発された。2000年にオープン型のMRIを導入した東京女子医科大学は、滋賀医科大学と並んで、日本における術中MRIのパイオニアと評されている。

加えて、赤外線カメラで手術器具の位置を検出し、撮像したMRI画像上に表示することも可能となった。1ミリの精度で位置を確認できるようになり、手術の展開に応じてMRI撮影を行えば、データが更新される。カーナビに例えれば、渋滞情報や自車の位置を更新するイメージであり、より確実な手術を可能とする。これが情報誘導手術、いわゆるナビゲーション手術である。東京女子医大では手術中に平均3回のMRI撮影を行う。

東京女子医大では2019年までの約20年間で、術中MRIを使った手術を、2023例実施している。これは国内では最多である。脳腫瘍は、悪性度がグレード1から4までに分類され、数字が大きくなるほど悪性度が高くなるが、治療成績は、5年生存率がグレード2で89%、グレード3で74%と、高い治療成績を上げている。

村垣は、「術中MRIを使うことで、悪性腫瘍の摘出率は格段に向上し、生存率も向上しています」と話す。

手術室のパッケージ化

この治療スタイルを元に、開発されたのが S C O T = Smart Cyber Operating Theater¹⁾である。スマート サイバー オペレーティング シアター従来¹⁾の手術室が単に、手術を行う場所を意味するのに対し、スマート治療室である S C O T は、術中 M R I や血管撮影装置、あるいは内視鏡など、想定する手術で中心的役割を果たす医療機器をあらかじめすべて決めた上で、対応するベッドや医療器具も含めて手術室全体をひとつのパッケージとしての製品にしてしまうのだ。その上で最新の S C O T は、コンピューターを活用しながらネットワークに接続し、診断と治療を同時に行うという画期的なシステムである。

村垣は、S C O T という名前を付けるに際してシアター、つまり劇場という言葉を取り入れたことについて、「医学の歴史を振り返ると、初期には、みんなが見ているところで手術をしました。舞台のように、誰に見られてもおかしくないのが、手術なのです」と語る。調べてみると、特にイギリスではいまでも、「手術室」という意味でシアターが使われている。従来の大学病院は、“白い巨塔”で閉鎖的というイメージがあるが、村垣はそれを覆し、すべての人に開かれたものにしていこうとしている。

それではなぜ、手術室のパッケージ化という発想が生まれたのだろうか。例えば大学病院のような大規模な医療施設では、同じような機能を持った違う機種²⁾の医療機器が複数置かれているのが実情だ。その結果、何が起きているかという、操作を間違ったり、覚えられなかったり、機械が故障していても気づかなかつたりといった、ヒューマンエラーによるミスが多発することになる。『Medical Tribune』(2013年10月3日号)によれば、手術室内で生じたミスについて、報告された総数の23.5%が、医療機器・器具に関連していたというイギリスの報告が掲載されている。記事は「特に医療機器・器具の技術に大きく依存するハイテク手術において、この率が高い」と述べている。そこで、種々雑多の医療機器を整理すれば、人為ミスが減ると期待されたのだ²⁾。

オペリンク

従来の手術室のもうひとつの欠点は、それまで医療機器のネットワーク化がほとんどなされていなかったことだ。それぞれの医療機器が“スタンドアローン”、つまり単独で操作される状態で、他の機器との情報の共有と統合がなされていなかった。そこで、S C O T の進化に貢献したのが、自動車部品製造大手のデンソーである。

デンソーは世界最大規模の自動車部品メーカーであると同時に、その部品を作るための作業

用ロボットを、グループ会社のデンソーウェーブで内製している。もちろん、自社製品以外にも多様なメーカーによる機械が、工場に導入されている。こうしたロボットが増えるにつれ、操作の手間が増える一方となる。そこで国立研究開発法人のNE^ネDO^ド=新エネルギー・産業技術総合開発機構のプロジェクトとして、日本ロボット工業会が受託し、デンソーを中心に開発されたのが、各種アプリを動かすことのできるミドルウェアのOR i N=Open Resource interface for the Network（以下、「オンライン」）である。オンラインは2006年に、デンソーウェーブが商品化した。

工場には様々なメーカーが作った、多種多様なプロトコルの機械やロボットがある。従来はそうした装置を、それぞれ別々に操作しなければならなかった。しかしオンラインを使えば、メーカーや機種の違いに関係なく、様々な装置を一元的に操作し、管理することができるようになるのだ。いまでは、幅広いリソースを統一的に扱うことができるプラットフォームの国際標準規格として認められ、オンライン協議会で管理されている。

デンソー社会ソリューション事業推進部担当次長の奥田英樹は、「オンラインで集まった情報を、ひとつの画面で見られるようなアプリを作ることでもできます。データは時間同期され、情報が連携されます。そのデータを、作業の改善にも活用できるのです」

集まったデータをどのように利用し、作業工程の改善にどうつなげるか。それこそ担当者の、腕の見せ所となるわけだ。

東京女子医大で博士号を取得した奥田は、オンラインをSCOTに適用できないかと考えた。そして開発されたのが、ミドルウェアの「オペリンク」である。オペリンクを使えば、様々なメーカーの医療機器の情報が時系列をそろえて統合される。こうして時刻同期した検査や診断データを情報化することで、手術の進行状況と患者の状態をひとつの画面でわかりやすく表示し、治療の現状を一目で総合的に把握できるようになったのだ。情報化の対象はMRI画像をはじめ、心電図や血圧、心拍を測定するモニター、4Kや8Kカメラなどの検査機器からの高精細な生体情報、麻酔が適切にかかっているかどうかを測定するBIS^{ビス}モニターなど、多岐にわたる。

東京女子医大の手術室の場合、20種類の機器が設置され、医療スタッフは、術野以外のあちこちに気を配らなければならなかった。それがオペリンクの導入で、情報が統合されたひとつの画面をチェックすれば良くなった。ディスプレイには機器のリストが表示され、どの機器を表示するかが、自由に選べる。レイアウトも自由自在で、別の機器の情報にいつでも変えられるようになっている。その分、スタッフは手術に集中できるのだ。

デンソーは、医療ベンチャーとしてオペリンクを取り扱うOPExPARK（以下、「オペパーク」）を2019年、ベンチャーキャピタルと共に設立し、奥田が副社長・ファウンダー（創業者）に就

任した。

戦略デスクと5G

加えて、こうした情報を統合表示し、スマート治療室の医療スタッフと遠隔コミュニケーションする機能を備えたシステムが「戦略デスク」である。スマート治療室とは別の場所に置かれた戦略デスクで、経験豊富なベテラン医師が、治療室内と同じ情報をリアルタイムに参照しながら、治療にあたる医師やスタッフへ、画面を見ながら具体的にアドバイスすることが可能となる。ディスカッションするときは、コミュニケーションボタンを押すと、どちらの画面を共有するかを選ぶことができ、手書き入力可能な映像を見ながら、意見交換することができるのだ。

このスマート治療室と戦略デスクの一方、または双方に、超高速低遅延で通信可能な5Gを活用し、スマート治療を遠隔支援できるのがモバイルSCOTの売り物だ。モバイルSCOTが実現すれば、SCOTの運用可能な場所と時間を拡大することが可能となる。例えば専門の医師が不足している地域や大規模災害の発生地域などにおいて、緊急対応を必要とする患者に対し、離れた場所にいる専門の医師が戦略デスクを利用して高い精度の診断を行い、その結果に基づいて早期の治療ができるようになる。

スーツケースなどに収納できる持ち運び可能なサイズに小型化した戦略デスクを、5Gネットワークに接続する「モバイル戦略デスク」が実現すれば、出張などで移動中、あるいは遠隔地にいる経験豊富な専門医師がタイムリー、かつ的確な指示や助言を、スマート治療室の医師に対して行うことが可能となる。

NTTドコモが行った模擬試験では、スマート治療室から戦略デスクへ5G伝送された医療機器情報の統合表示画面が、従来の4G品質で伝送した場合と比較し、より鮮明な映像情報として再現され、SCOTに要求される品質を達成可能であることが確認された。

NTTドコモ担当課長の南田は、「治療室で扱う高品質の画像は情報量が多いため、4Gでは、上りのアップリンクでデータを送ることができません。しかし5Gであれば双方向が可能となり、医師がどこにいても、治療室をどこに派遣しても、情報をアップできます。その結果、モバイルSCOTというシステムの運用が可能となるのです」と話す。5G時代を迎えるからこそ、スマート治療室のモバイル運用が可能となるのだ。

発展するSCOTと5G

これまで述べて来たようにSCOTは、徐々に進化を遂げている。基本はMRIを中心とした手術機器のパッケージ化だが、やがてオペリンクを使った手術室のネットワーク化が実現した。最新のSCOTでは、医療機器のロボット化が進むと同時に、過去の症例における判断パターンを参照し、執刀医の判断をAI＝人工頭脳が支援する「意思決定ナビゲーション」も提供されている。

SCOT導入には数億円の経費が必要となるため、設備の更新時期にあわせて導入を検討する病院が多い。これまで大学病院では広島大学や信州大学でSCOTが導入されている。東京女子医大では2019年から、AIも利用できる最新鋭のSCOTとなっている。

東京女子医大の村垣は、「SCOTだから良い結果が出て、良い結果が出るから、患者さんが増える。患者さんが増えると、さらに技術も上がるという良い循環が生まれています」と語る。SCOTやオペリンクを使うこと自体に保険適用はないが、患者の増加で病院としての収入が増えれば、高価な投資をしても十分に採算が合うという計算だ。

オペパークの奥田が、オペリンクを使うSCOTの利点として強調するのは、「安心感の提供」だ。奥田は手術をビデオ撮影するだけの従来の対応を自動車のドライブレコーダー、オペリンクを使ったSCOTを飛行機のフライトレコーダーに例える。

「手術室では、患者は麻酔され、目覚めたら手術は終わっています。だから患者さんは、実際に何が行われたのか、よくわかりません。しかしオペリンクだと、フライトレコーダーと同じで、あらゆる情報が残ります。病院の差別化、生き残りの中で、『うちの病院にはオペリンクがあります。データはすべて取っています。安心してください』という病院が必ず出てきます。そうせざるを得ない時代が必ず訪れると思います」

NTTドコモは、5Gを利用する高度医療の取り組みとして、モバイルSCOTに加え、2019年からハイパードクターカーの実証実験を行っている。ドクターカーには心電図やエコーなどの医療機器、患者の状態を確認できるカメラなどが搭載され、4K映像によるデータが5Gを使って高度救命センターに送信される。

NTTドコモ担当部長の奥村は、「使い方次第で5Gの活用領域はいつそう広がる」と自信を見せる。

「我々の5Gネットワークを活用していただければ、医療の地域格差を解決できる面も多いのではないかと考えています。私の個人的な思いとして、2025年の大阪万博で、海外のみなさんに、こうした世界初のソリューションがあるということをアピールできるようにしたいと願っています」

オンライン診療

モバイルSCOTとは別に、新型コロナウイルスの感染予防対策として、オンライン診療が注目されている。オンライン診療とは、予約や診察、処方や決済まで、インターネット上で行う遠隔診療である。離島やへき地などの患者に対しては、1997年から「遠隔診療」が認められてきた。情報通信技術の著しい進歩を背景に、2018年、厚生労働省が遠隔診療という用語をオンライン診療に改めた上で、その指針を発表し、ビデオ通話を用いたオンライン診療が一般にも認められるようになった。

仕事や家事などの都合、あるいは身体が不自由なため、頻りに医療機関を訪れることの難しい患者が、スマートフォンなどを利用して手軽にオンライン診療が利用できるようになったのだ。

とはいうものの、制限は多い。対象となる疾患は、高血圧や糖尿病などの生活習慣病、あるいは小児特定疾患、てんかんなど、状態が安定していて、毎月の対面診療までは必要がなく、オンライン診療を活用することが治療の継続に有効であると認められるものに限定されている。急性疾患は対象外だ。認められている疾患でも、初診と3カ月ごとには、対面診療が求められている。さらに、緊急の事態に備えて、「おおむね30分以内に対面診療が可能な体制を有していること」と決められている。

つまり遠距離でのオンライン診療は認められていない。また、医療を提供する医療者側には、スマートフォンなどのテレビ電話だけで安全な医療を提供できるのか、そのコストはどのように負担するのかなど、懐疑的な意見を持つ専門家も少なくない。

ただし、新型コロナウイルスの感染拡大に伴い、政府は2020年4月に流行期間中のみの特例措置として、オンライン診療を初診から、対象疾患を限定せずに受診できるよう方針を転換した。薬剤師がオンラインで服薬指導し、薬を宅配便などで送ることも可能とした。

厚生労働省は2020月末、オンライン診療の対応医療機関として1万施設のリストを公表した。これらの施設の中には、人員や機材など診療体制の問題から、電話による受診対応施設も多く含まれており、診療の質が保つことができるのか課題となっている。しかし、新型コロナウイルスへの感染を恐れて直接の通院を避けたい患者の利用は急増しており、経営悪化に悩む医療機関にとっても、オンライン診療は有効な対策のひとつとして期待されている。

遠隔診療で5Gの利用が始まり、格段に高画質の映像が伝送できるようになると、医師が患者の顔色や体調の変化を観察しやすくなるというメリットがある。

2019年11月には「改正医薬品医療機器法」が成立した。現状では対面に限られている、薬の飲み方を教える服薬指導のオンライン化が、初回は薬剤師が対面指導することなどを条件に

解禁されることになった。

オンライン診療はまだ始まったばかりであり、厚生労働省ではその普及状況や、安全性、有効性などを検証した上で、定期的に指針の見直しを行うとしている。

新型コロナウイルス感染防止対策として、オンライン診療を初診から、対象疾患を限定せずに受診できるとした特例措置について、暫定期間の経過後は、医療の安全性を保つことができるのかといった議論もあり、同時に5Gの本格運用開始もあって今後の国の対応が注目される。

こうして医療は限りなく進化する。その一方で、増大する医療費の削減という課題もある。その疑問を村垣に問うと、「なぜ携帯電話ができたのかという疑問と一緒にですね」という答えが返ってきた。当初は「固定電話があればいい」という人がほとんどだった。電話業界でも移動体通信は、かつては傍流の扱いだった。しかし、「なくてもいいけど、あったら便利という世界なのです。“あったら便利”が次の世界を変えて行くと思っています」と村垣は言う。実際にSCOTも、最初はパッケージ化の意味がなかなか理解されなかった。次にネットワーク化のときも、具体化してはじめてその価値が理解された。「モバイルSCOTもそれと一緒に、『患者を病院に早く搬送すればいいだけの話だ』と言われるかもしれませんが。しかし、その場ですぐに処置できるかどうかで、命に関わって来ることもあるのです」

閉ざされた密室で検討するのではなく、「シアター」として情報をすべてオープンにする。そうすれば、モバイルSCOTが必要かどうか、誰の目にも明らかになるはずだ。モバイルSCOTは、医療の将来を占うひとつの試金石と言えるだろう。

セキュリティロボット

東京のSEQSENSE（以下、シークセンス）^(註3)が開発した警備ロボット「SQ-2」。高さは130センチで、小学校高学年の子どもくらいだ。アメリカのSF映画「スターウォーズ」に登場する人気ロボット「R2-D2」を連想させるが、ずっとスリムで、小型ロケットのような形をしている。フロアを自在に動きまわる姿に、近未来的な機能美が感じられる。

本体の上部に、冠のように取り付けられた3個のレーザースキャナーが常にくるくと水平方向に回転することで三次元マッピングを行い、周囲の状況をリアルタイムで立体的に把握する。このため商業施設やオフィスビルなどの屋内を、GPSなしでも、スムーズに動き回る。超音波センサーと組み合わせることで、夜間でも障害物を感知し、人や移動する物体を上手によけることができるのだ。

SQ-2が担う主な役割は巡回と立哨警備である。ボディ前方に高解像度カメラを搭載しているほか、3方向に付けられた魚眼レンズで常時360度の撮影が可能だ。施設内を回って不審



(3) 成田国際空港第3ターミナル内を巡回警備するSQ-2（提供：成田国際空港）

なものがないかどうか、消火器や消火栓、非常口やゴミ箱などの設備に異常がないかどうか、映像やセンサーで把握する。サーモセンサーが、肉眼ではわからない異常な熱源を感知し、火災対策にも役に立つ。あらかじめ施設内の巡回ポイントを設定しておく、誰かが操縦するのではなく、SQ-2が自分で障害物をよけながら最適なルートを判断して巡回する。“自律移動型ロボット”と呼ばれる所以である。バッテリー残量が少なくなると、家庭用のロボット掃除機のように、自分でドックに帰還して充電する。

人間の警備員は防災センターに待機して、SQ-2から送られてくる情報をチェックする。SQ-2はスピーカーとマイクを搭載しており、警備員がリモートで会話することも可能だ。

稀少な存在

商用としての運用開始は2019年8月で、三菱地所が東京大手町の超高層ビルにSQ-2を導入した。2020年2月には、NAA＝成田国際空港が第3ターミナルで、SQ-2を採用した。利用月額額は1台約30万円である。NAAは「警備ロボットの導入にあたり、足回りの面積が小さく、人込みや狭い通路等での機動性が高い」点を評価したと述べた上で、「人とロボットの力を融合させた、より高度で効率的な館内警備を実現」と、SQ-2に期待する。

そもそも自律移動という技術自体は、以前から研究されてきた。例えば工場内に引かれた白線を目印にロボットが移動する技術は、すでに実用化されている。自動車では、高速道路など

の限定された区間内では自動運転が実用化の段階に入っている。しかし一般道を含む完全な自動運転の実用化はまだ遠いのが現状だ。それと同じで、ロボットのために特別に整備されていない環境の中で、自律移動を実現しているロボットは、海外を含めてまだ数少ない。しかも狭い通路やオフィスで、通行する人たちをよけながら自律移動できるロボットとなると、ほとんど他に見当たらない。だからこそ、日本を代表する企業が、S Q-2を導入しているのだ。

不審者や不審物の対応については、やはり人間の判断が求められる。何が“不審”なのかを判断する機能はまだ、S Q-2に搭載されていないからだ。しかし「本来は誰もいない場所や時間に、誰かいたり、何かあったりしたら防災センターに知らせるといふ決まりを作ることで、対処は可能」と、シークセンス代表を務める中村壮一郎は言う。

「いまは人間が判断してやっていますが、必要性の優先順位を付けて、A I・人工知能のチームがしっかりと作り込んでいくよう、準備を進めています」

ふたりの創業者

シークセンスを創業したのは、明治大学理工学部教授の黒田^{ようじ}洋司と、中村のふたりである。

このうち1965年生まれの黒田は、少年時代から船や飛行機が大好きで、大学では工学部で船舶海洋工学を専攻した。大学院で水中ロボットの研究に携わったことから、ロボットの設計や開発に取り組むようになった。その後、アメリカのマサチューセッツ工科大学で客員准教授を務めたり、J A X A = 宇宙航空研究開発機構で小惑星探査機「はやぶさ」プロジェクトに携わったりする中で、起業を意識するようになった。

「大学では、何回失敗しようが、成功率が低かろうが、理論を証明できれば良い。しかしロボットの産業化は、時代の要請なのです」

そこで黒田の考えたのが、起業だった。黒田の専門は、移動ロボット工学である。自分で作ったロボットが、世の中で実際に使われるようになって欲しいという思いもあった。黒田は、東京のシステム開発大手、T I Sと自律移動型ロボットに関する共同研究プロジェクトをスタートさせ、起業に向けた準備に入った。そんなとき、声をかけたのが、かねてから個人的に知り合いだった中村である。

1977年生まれの中村は、大学時代にアメリカンフットボール部の主将を務めたこともあるスポーツマンだ。大学卒業後は、大手都市銀行や外資系証券会社のニューヨークオフィスに勤務したあと、コンサルタントとして独立した、財務や経営のスペシャリストである。技術関係は専門外で、最初は「ロボットには全然興味がなかった」という。しかし黒田と話をするうちに「汎用性が高く、とてもおもしろそう」な事業だということがわかってきた。2016年10月、

ふたりでシークセンスを創業し、中村が代表に就いたのである。

“世界を変えない”

日本の人口は2008年の1億2808万人をピークに、減少に転じた。首都圏などでは人口の増加が続いているが、東京都人口統計課の予測では東京都の人口も2025年をピークに減少に転じると見られている。その一方で、増加の続く65歳以上の高齢化率は2018年のデータで28.1%と、世界第一位である。アメリカの15.8%、中国の11.2%のはるか先を走っている。国立社会保障・人口問題研究所の「日本の将来推計人口」によれば、2060年の人口は8674万人で、ピーク時から4100万人以上も減少し、高齢化率は38.1%にも達すると見られている。日本の少子高齢化は、驚くべきスピードで進行している。

こうした状況を踏まえて中村が提唱したシークセンスのミッションは“世界を変えない”。世界をより良く変えることよりも、いまは世界を変えないことのほうが喫緊の課題だと中村は考える。

「社会が急速に縮小する中で、いま私たちが享受している豊かさや平和を、次の世代にどのように受け継いでいくか。そのために我々は、生産の効率を上げることにフォーカスすべきだと考えました。ロボットが戦う敵は“深刻化する働き手不足”なのです」

最初にどの分野から参入していくべきか。ふたりが着目したのが、人手不足が特に深刻な問題となっている警備の仕事だった。厚生労働省がまとめた全国平均の有効求人倍率を見ると、シークセンス創業直後の2016年12月で、全職業の平均が1.36倍なのに対し、警備業界は7.22倍と、きわめて高い状態にあり、しかも年々上昇している。これほど売り手市場なのに、人が集まらないのはなぜか。

理由の第一は、警備員の給与水準が低いことだ。中小零細企業が大半を占めることもあって、全職種平均の3分の2以下にとどまっている。警備員の大半を占める契約社員は、勤続年数が増えても、給与は増えないことも多い。第二に労働時間が全産業平均に比べて月平均で20時間以上も長く、夜勤も多い。昼夜逆転の生活も珍しくない。第三に労働災害の件数も、全産業では減っているのに、警備業では逆に増えている。夜間に長時間で低賃金、しかも危険な労働環境となれば、警備員不足が深刻化しているのもうなずける。

そこで期待されるのが、ロボットの導入だ。ロボットなら充電とメンテナンス以外は24時間、365日働き続けることができる。大規模施設の増加で警備を担当するエリアが拡大し、チェックポイントが多くなると、人間の警備員には肉体的にも精神的にも負担が増す。ミスも生まれる。しかしロボットなら、決められた仕事を確実にこなすことができる。“機械的”な仕

事は、機械に任せようがうまくいくのだ。

しかし、「東京ビルメンテナンス協会警備防災委員会」が2019年にまとめた「警備ロボット調査研究報告書」によれば、会員アンケート調査で「何らかの形で警備ロボットを導入している」と回答した会社は僅か1.4%にすぎなかった。この分野はまだ手つかずの状態、ビジネスチャンスは大きい。

自律移動と5G

本稿のテーマである5Gについて、黒田に聞いてみると、「回線が太くなることは良いことです」と期待する。

「SQ-2から大容量のデータを送付し、逆に防災センターからは画像を解析して判断し、指示を出す。これをクラウドで処理するとき、5Gは非常に重要になります。データ量が大きければ大きいほど、速ければ速いほど、いろいろなことができるのです」

大量の情報を処理するデータセンター、電力や水道などライフライン関連施設をはじめ、24時間監視が必要な施設は、増え続ける一方で、減ることはない。そこでは大量の情報をSQ-2が扱うことになる。5G時代になれば、その処理が容易になるのだ。

ただし、5Gを含めた通信が使えない場合も想定しておく必要がある。

「建物の隅など、通信状態が悪くなったり、途絶したりする場所がある限り、ロボットは通信がない環境でも動けるようにする必要があります。例えば通信が悪くなった瞬間、子どもに飛び出されても、きちんと止まらなければなりません。すべてをクラウド化するのではなく、ロボット本体に相応の機能や能力を残さざるを得ません」

基本的な自律移動に関しては、通信がなくても機能しなければならない。

「公道での利用は、現在はまだリスクが高すぎると考えており、ずっと先の課題です。しかし建物の外構部くらいなら近く対応できると思います」

SQ-2は警備ロボットだが、シークセンスの事業は警備ではなく、自律移動型ロボットの開発と提供である。中村は「新しいマーケットを創っていくことを、次のステップ」として考えている。

「ロボットならではの仕事を追求します。例えば製造業や流通業、倉庫業などでは、決められたライン上の移動ではなく、自律移動を活かしたより効率的な処理が可能となります。清掃ロボットも、自律移動でより適切な作業ができるようになります」

“旧態依然”という言葉がある。何も“変わらない”というネガティブな意味で使われる。これに対して“世界を変えない”というシークセンスのミッションは、ポジティブだ。“変わらない

い”ではなく“変えない”ために、シークセンスならではの本質的な価値が生み出されている。

機械警備

続いて検討するのは、警備業界最大手のセコム^(註4)の警備ロボットだ。1962年に日本初の民間警備会社「日本警備保障」としてスタートしたセコムは、2年後に開かれた東京オリンピックで選手村の警備を担当して注目を集めた。オリンピックの翌年に始まったテレビドラマ「ザ・ガードマン」は、高い視聴率で人気を集めたが、セコムは番組に登場する警備会社のモデルとして番組制作に協力し、その名を広く知られるようになった。

そのセコムが、人的警備だけでは多くの警備員を擁することになり発展が望めないと考え、1966年にいち早く導入したのが、日本初のオンライン・セキュリティシステム「SPアラーム」だ。契約先に防犯・防火センサーを取り付け、電話回線を通じてセコムが24時間遠隔監視し、異常を感知すれば、警備員が駆けつける仕組みである。

このように夜間に無人となる店舗やオフィス、さらには住宅などにセンサーを設置して警備するシステムを「機械警備」と言う。人間の警備員は、必要とされる場面にのみ対応するサービスモデルだ。セコムはSPアラームを手始めに、ガラス破壊センサーや赤外線センサーなどを使った機械警備を次々と世に送り出してきた。ミスタージャイアンツこと長嶋茂雄が「セコム、してますか？」と問いかけるCM効果もあり、機械警備の代名詞としてセコムの名は広く浸透している。

それでも、警備員の配置が不可欠だとされている場所がある。それは、多くの人が往来する、昼間のエントランス空間やビルの受付などだ。訪問者に対する案内や誘導などコミュニケーションが求められると同時に、状況によっては臨機応変に対処する必要もあり、人間による対応が求められてきたのだ。

バーチャル警備システム

そんな、人間にしか対応できないとされてきた領域で、セコムが新たに投入しようとしているのが、「バーチャル警備システム」である。2019年4月に発表されたプロトタイプは、高さ約2メートル、幅約1.1メートル、重さ約130キロの大型ディスプレイに、大人とほぼ等身大の3Dキャラクターが「バーチャル警備員」として現れる。

バーチャル警備員は録画映像ではない。周囲の様子を、映像情報や距離画像情報などでセンシングする。それを解析、判断した結果により、自律駆動し、バーチャル空間で警備員として



(4) 熱画像カメラで来訪者の体温チェックにあたるバーチャル警備員（セコム本社にて）

振る舞うのである。表情は、勤務中の警備員に求められる印象をベースにしているが、にこやかだったり、きびしめだったり、状況に応じて様々に変化する。こうした一連の工程は「バーチャルロボット技術」と呼ばれている。

バーチャル警備員はセコムの制服を着用し、男性警備員の「衛^{まもる}」と、女性警備員の「愛^{エイ}」を、場面に応じて切り替えられるようになっている。ちなみに名前の由来は、字を音読みして衛^{エイ}＋愛^{エイ}＝A Iだ。その名の通り、バーチャル警備システムにはA I・人工知能が搭載されている。

本格的な開発が始まったのは2018年春だが、その背景にあるのは、A I技術の急激な進展だ。加えて、バーチャルリアリティの技術を利用したゲームなどが人気を呼び、バーチャルな存在が広く受け入れられつつあるという社会状況もあった。

ディスプレイには、特殊ミラーの反射で周りの風景も映し出され、その中に溶け込んだバーチャル警備員は立体的で、かなり目立っている。

セコムによれば、A Iを活用して警備や受付業務を行うバーチャル警備員は、世界初の取り組みである。

三つの機能

バーチャル警備システムは、これまで人間の警備員が行ってきた三つの役割を果たすことができる。

ひとつは、定められた場所を監視する「警戒監視機能」だ。バーチャル警備員は顔と視線を

向けて、人びとの行動を追いながら、周囲を監視する。開発を担当した企画部担当部長の長谷川精也は、その犯罪抑止効果を強調する。

「立哨業務においては『その場に人がいる』という実在感そのものが、大きな意味を持ちます。そこで、正面の一点を見据えるのではなく、人が横切ったときにはその人物に視線を向け、近づく人物には目を合わせ続けることで、周囲に対する“見せる警備”を実行します。変化に対応して動くので、警備員が本当にそこに立っているような存在感があり、犯罪の抑止効果が発揮できると考えています」

バーチャル警備員はアニメ風のデザインなのに、目配せしながら周囲を見回す仕草を見ると、本当の人間のように思えてくるからおもしろい。

ふたつ目は、来訪者に対応する「受付機能」だ。ディスプレイ一体型ミラーには高性能の監視カメラが内蔵され、顔認証機能が搭載されている。AIが相手を判断し、「いらっしゃいませ。ご用件をどうぞ」「〇〇様、お待ちしております。担当者に連絡しましたので、ロビーでお待ちください」などと、コンピューターによる音声と動作で対応する。小さな子どもには、バーチャル警備員が腰をかがめて視線をあわせるようになっている。

三つ目は、「緊急対応機能」だ。急病人が出た場合などには集中監視センターに緊急事態発生を知らせ、常駐警備員が駆けつける。ディスプレイ一体型ミラーに地震や火災情報などを表示することも可能だ。

開発にあたっては、かねてからセコムと協業しているAGC（旧・旭硝子）が高反射率のディスプレイ一体型ミラー技術、ゲーム事業の経験豊富なDeNAがキャラクターデザインの原案と音声合成技術、NTTドコモが音声認識技術、そして5Gに関する技術や情報提供などで参加した。

2021年にも実用化へ

バーチャル警備システムが実用化されれば、警備員の効率的な配置が可能となる。例えば、3階建ての施設で警備員を各階に1名ずつ、防災センターには2名を配置し、合計5名で運用している場合、各階の警備員をバーチャル警備員に置き換えることで、人間の警備員は2名のみで対応できるケースもあると、長谷川は導入のメリットを説明する。人手不足に悩む大型の施設ほど、導入の効果は大きそうだ。

求められる警備内容によっては、バーチャル警備システムが設置されている複数の契約先を、契約先以外の場所にあるセコムの遠隔監視センターで集中的に監視することも可能だ。

セコムでは、今後もさらに内容の検討を重ね、2021年には商用化したい考えだ。料金は未定

だが、立体型のロボットに比べるとパーツも少ないため比較的安価となり、人間の常駐警備員を雇用する場合に比べ、半額以下での提供を想定している。

5Gで広がる利用空間

いまのところ、バーチャル警備システムは大量の情報を扱うため、有線ネットワークで接続されている。つまり、このバーチャル警備システムも、5Gによる進化が期待されている分野のひとつなのだ。

最大のメリットは、設置場所の制約もなくなることだ。特にオフィスビルのエントランスなどでは電源はあっても、美観に配慮して有線ネットワークを敷設できないことが多い。こうした場所で5Gのネットワークが確保できれば、最適な場所にバーチャル警備員を配置できるという、実用上の大きなメリットが生まれる。

5Gの高速・大容量・低遅延の特長を生かし、顔認証の精度向上や、来訪者とのスムーズなコミュニケーションが期待される。

セコムの遠隔監視センターと5Gで結べば、バーチャル警備システムの利用範囲はさらに広がるだろう。

5Gの商用サービスが2020年に始まったことを受けて、同年6月に東京のセコム本社で行われた5G接続の実証実験では、新型コロナウイルスに対する、新しい感染予防策をテストした。バーチャル警備員と熱画像カメラを連携させ、来訪者の体温チェックと誘導、マスク未装着者への着用をお願いを行う。37.5度以上発熱している来訪者を入館前に確認できるため、感染拡大を未然に防ぐ効果が期待できる。バーチャル警備員が来訪者の体温チェックを行うので、常駐警備員が直接体温チェックを行う場合に比べて来訪者、警備員双方の感染リスクも低減できる。

空からの警備

5Gが期待されているのは、地上だけに限らない。空からの警備にも利用が広がろうとしている。

そのひとつが小型無人航空機、いわゆるドローンだ。軍用は固定翼タイプが主流だが、業務用や民生用では複数のローターで揚力を発生させて飛ぶタイプが一般的だ。

日本では、航空法が改正されてドローンが法律で定義された2015年が、ドローン元年と呼ばれている。

セコムが、その3年前から開発を進め、航空法改正にあわせて発売したのが、格納庫からの発進、飛行、帰還、充電まで完全に自動で「巡回監視サービス」を行う自律型飛行監視ロボット「セコムドローン」だ。

4つのローターを持つドローンのサイズは、対角線で測ると約69cm、重さ約2キロだ。機能としては監視カメラのほか、LEDライトを搭載しているため、夜間でもカラー撮影が可能である。そのほか加速度センサー、ジャイロセンサー、方位センサー、GPS、測距センサーを搭載している。

航空法上は最高150mの高さまで飛ばせるが、地上を撮影する場合の高度は画質を考えて3~5メートルに設定している。

サービスの対象は主に、郊外型店舗や工場、スーパーなど比較的規模の大きな施設で、東京ドーム2つ分くらいまでの広さを想定している。あらかじめ決められた時刻、もしくは

警備室に設置したドローン監視卓からの遠隔操作で、セコムドローンが発進すると、事前に設定した経路と速度、高度、それにカメラの向きで敷地内を自律飛行する。ドローンが撮影した映像はWi-Fiで伝送され、リアルタイムで上空からの映像を確認することができる。ドローンの飛行に関する制御用信号の通信は、免許を必要としない「特定小電力無線」を利用している。

セコムはドローンによるサービスとして、ほかにも「侵入監視サービス」を提供している。契約先の敷地内で不審な人や車をセンサーが感知すると、発進したセコムドローンが上空から接近し、車のナンバーや車種、ボディカラー、人の顔や身なりなどを撮影し、警備室に画像を送信する。

セコムドローンの導入先は、セキュリティ上の制約もあり公開されていないが、唯一リリースされているのは山口県美祢市にある「美祢社会復帰促進センター」だ。ここは官民協働で運営する日本で最初のPFI（Private Finance Initiative）刑務所である。受刑者の早期社会復帰を促すため、できるだけ一般社会に近い環境で運営されている。センター内に鉄格子はなく、開



(5) 美祢社会復帰促進センターで巡回監視を行うセコムドローン（提供：セコム）

放的な雰囲気だ。そこで、監視の目を光らせているのがセコムドローンというわけだ。

上空からの監視で、固定カメラのみの監視と比べて死角が大幅に減り、屋上など危険な場所のチェックも容易になった。開発を担当したサービスロボット開発グループ統括担当ゼネラルマネージャーの尾坐^{おざ}幸一に、実績を聞いてみた。

「守秘義務があるので、具体的にはお答えできませんが、成果は上げています。ドローンのLEDライトの強い光と、大きな飛翔音で、威嚇や抑止の役割も果たすと考えています」

この他にもセコムは、NEDOで推進しているDRESSプロジェクト（ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト）にも参画している。2017年度から2019年度までの3年間、KDDIやテラドローンと共に、警備用途の運航管理システムを研究開発した。すでに実施されている実証実験では、複数のドローンを同時に飛ばすことで、大規模スポーツ施設やリゾート施設など広いエリアの監視を実現している。具体的には、4台のドローンを使った実験で、2台は俯瞰ドローンとして高度数十メートルの上空に配置する。全体を監視する映像で、不審な人や車をAIが発見すると、低空を飛んでいる2台の巡回ドローンに位置情報が送信され、現場上空に急行するのだ。このようにドローンの利用範囲は広がっている。

4K、8K映像の期待

セコムドローンにはまだ、高解像度の4Kカメラは搭載されていない。

一方、NEDOの実証実験では、5Gを利用して4K映像を伝送するテストに成功している。2019年8月、東大阪市の花園ラグビー場で行われたスタジアム警備の実験では、ドローンのカメラや地上の監視ロボットが撮影した4K映像が、セコムの移動式モニタリング拠点に5Gで伝送された。4K映像は、AIによる人物の行動認識機能で解析される。従来のハイビジョンよりかなり高画質なため、AIの判断は、いっそう的確になる。ちなみに4K映像の解像度は、現行ハイビジョンの4倍、8K映像は現行の16倍である。不審な行動が見つかった場合は担当エリアの警備員に通知され、早期に対処することが可能となる。尾坐が語る。

「セコムドローンはまだ高解像度カメラを搭載してないので、情報を取るためには物体の近くに行く必要があります。しかし、4Kや8Kのカメラを使うことができれば、上空数十メートルから百メートルの高さからでも、地上を詳細に監視することができます。これまでとは違った世界観のサービスを提供できる可能性があります」

気球で監視

高解像度カメラの搭載が期待される、もうひとつのシステムが、2016年から運用を開始した「セコム気球」だ。最大高度は60メートルで、風速10メートルまで運用可能だ。ちなみにドローンの飛行は風速5メートルまでと、国土交通省のマニュアルで定められている。

移動が難しいかわりにドローンと比べて優れているのは、積載容量が大きい点である。4Kカメラはすでに小型化が進んでいるが、8Kカメラとなると、まだ重量が大きい。このため気球のほうが、実現は近いかもしれない。

高解像度カメラだけでなく、熱画像カメラ、対象物までの距離をカメラで測定するステレオ画像センサーなど、複数のカメラを搭載することもできる。しかも5Gなら、大容量のデータ通信ができる。雨や風などの悪天候にも対応でき、多面的な情報収集が可能となるという面で、セコム気球は期待されている。

「5Gを使った高解像度監視という点では、気球のほうが先に実現する可能性が高いですね」

ドローンや気球による上空からの警備は、認知症で徘徊する高齢者の発見に役立つ可能性もある。

4K×5G×AIが、すでに時代の流れとなってきている。



(6) 高解像度カメラの装備が期待されるセコム気球 (セコム提供)

おわりに

新型コロナウイルスの感染予防策として、ホームワークが奨励されている。しかしホームワークができない仕事もある。特にエッセンシャルワーカーと呼ばれる人たちは、ウイルスに感染する危険をおかしながら、社会に必要不可欠な仕事をこなしている。そのひとつが医療の現場であり、警備の仕事である。人手に頼る部分が大きな労働集約型産業の典型と言える。新型コロナウイルスによる感染が収束すれば、こうしたエッセンシャルワーカーに対する労働環境の改善が重要な課題となる。そのとき、今回紹介した遠隔技術、そしてロボット技術の活用は、一層注目を集めることになるだろう。(敬称略)

【註】

- (1) SCOTプロジェクト 本文記載の大学・企業以外にキャノンメディカルシステムズ、パイオニア、ミズホ、日本光電、SOLIZE、日立製作所、エア・ウォーター、セントラルユニ等の各社が参加している。
- (2) SCOTと競合する規格 アメリカの“MD P n P”はハーバード大学の麻酔科医が主導するプロジェクト。ドイツの“OR. NET”は、ライプツィヒ大学などが中心となって活動している。
- (3) SEQSENSE 社名は seek (能動的な探索) と sense (受動的な感覚) をかけ合わせた造語。
- (4) SECOM 社名は Security (安全) と Communication (コミュニケーション) をかけあわせた造語。