

第 392 回産業事情検討会・公開セミナー(6 月 18 日開催)※Zoom によるオンライン開催
【共同開催】東北大学大学院工学研究科技術社会システム専攻
東北大学タフ・サイバーフィジカル AI 研究センター

フィジカル・インテリジェンス最前線： 人・ロボティクス・デジタルツインの共創

東北大学大学院情報科学研究科応用情報科学専攻 教授

東北大学タフ・サイバーフィジカル AI 研究センター長

田所 諭氏

千代田化工建設(株) 参与 フロンティアビジネス本部デジタル担当 井川 玄氏

東北大学大学院工学研究科 技術社会システム専攻特任教授 泉 秀明氏

<泉 秀明氏>

フィジカル・インテリジェンスが実現する“レスキューロボットのデュアルユース化”

それでは、“レスキューロボットをプロセスプラントの運転・保守・保全用、自律巡回監視ロボットとしてデュアルユース化”する試みは、どのように展開させていくべきものなのでしょうか。

大地震が向こう 30 年に 70%の確率で発生すると予想され、海岸部にプロセスプラントが集中する日本においては、公共的な安全対策が求められています。また、“レスキューロボットをデュアルユース化”するためには、様々なシステムを統合する技術開発、事業開発を必要とし、これらを企業一社で対応することは難しく、多くの企業、ステークホルダーの関与を必要とします。

このようなプロジェクトは、大学・企業が共同で取り組む典型的な産学連携プロジェクトであり、有効な組織の代表的な枠組みの例として「技術研究組合」があります。これはイノベーションの創発を目的として、大学発ベンチャー・スタートアップを促進する国の施策に基づくもので、産学連携で研究開発、事業開発を行う組織です。企業・組織のサイズに関わらず一組合員、税制上の対応等、非常に柔軟性を持っています。

2019 年から 2022 年まで、大学発ベンチャー創出を目的とする京都大学インキュベーションプログラムにおいて、現在は大阪工業大学、当時は京都大学理工学研究科の教授でいらっしゃった松野先生と共に、主に建設・エンジニアリング分野で**レスキューロボットのデュアルユース化**を実現させることを目指して私は事業開発に従事しました。技術研究組合の組織化を目論みましたが、コロナウィルス感染対策が主たる理由で、活動に制限を受け期間内に実現させることができずにプロジェクトは終了しました。松野先生の盟友で、リーダーとして最先端でレスキューロボットの研究開発を進めておられる本日の講師である田所先生が**レスキューロボットのデュアルユース化**を実現されることを期待しております。

ロボット、デジタル技術を駆使した“プロセスプラントの運転、保守、保全のスマート化”は、多様な技術イノベーションを必要とする重要な国家戦略となっています。中国やドイツをはじめとする海外の企業で開始されていますが、技術的にはまだ未発展の段階のようです。

今後日本では、多くの大学、企業が参加・結集して、**レスキューロボットをプロセスプラントの運転・保守・保全用自律巡回監視ロボットとしてデュアルユース化**するための技術開発、事業開発のプロジェクトが、産学連携によって実現されることを祈念しています。

＜田所 諭氏＞

現状の AI に感じる違和感 ～フィジカルに根差したインテリジェンスとは

私はレスキューロボットという、災害時に人命を救助したり、あるいは人の役に立つ活動をしたりというロボットの研究開発をやってきました。これをもう少し砕けた形で言いますと、要するにガンダムや鉄人 28 号のような正義の味方のロボットを作りたかった、というのが正直なところですよ。

このようなインテリジェントに動くロボットを実現しようとした時に、キーワードとしては AI (Artificial Intelligence) を挙げることには大きな違和感を覚えています。

Artificial Intelligence と言いながら、もう少し詳しく言うと、Intelligence in Artificially Structured World というようなイメージを持っています。要するに、人工的に作り上げられた環境の中で、それなりに気の利いたことを自動的にやることのできる程度のレベルにしかならない、というのが今の AI だと思います。ディープラーニングなどを用いて、フィジカルな世界とサイバーの世界がより密接に結びつくようになってはきましたけれども、これを実際に現場で使おうとした時には依然として厳しい部分が多い。もっと真剣にフィジカルに根差したインテリジェンスというものを考える必要があるんじゃないか、というのが私の主張です。

本日の講演では、私が取り組んできたレスキューロボットをご紹介した後、そこでの問題点や、それに対してインテリジェンスをどのように考えていったらいいのかということについて、ここで議論をしてみたいと思います。

災害時におけるロボットの役割定義

災害時におけるロボットの役割は以下のように整理されています。

「遠隔自律機能により、人間の仕事を代替することによって、困難な仕事を可能にする」

レスキューロボットの役割には、災害の予防や緊急対応、災害の復旧などがあります。特に人間には対応が不可能であったり限界があったりする所、例えば狭い所を点検したり、あるいは上空や瓦礫内で被災者を発見したり、またあるいは土砂ダムなどの調査や工事を行ったりするというものになります。

ここで救助ということを考えますと、もう少し詳しく考えてみる必要があります。

国連の OCHA (United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs 国連人道問題調整事務所) という組織の中に USAR (Urban Search And Rescue 都市型搜索救助チーム) という組織があります。これは災害救助を行う人たちのグループで、このグループが主導する形で様々な活動の国際的な標準化や級付をやっています。この OCHA が 2020 年に、災害救助の搜索救助をどのように進めるかという国際標準ガイドラインを定めています。

以下のように、ASR (Assessment, Search and Rescue) レベル 1 からレベル 5 の分類がなされています。

レベル1: 広域の災害現場の評価

レベル2: 作業現場のトリアージ評価

レベル3: 迅速な搜索活動

レベル4: 全面的な搜索救助

レベル5: 全範囲をカバーする搜索と復旧

このように、レベルを5段階に分けて災害対応を進めていく手順が国際的な標準となっています。日本では若干標準から外れた活動を行っているように見えますが、基本的にはこれが標準だと思います。

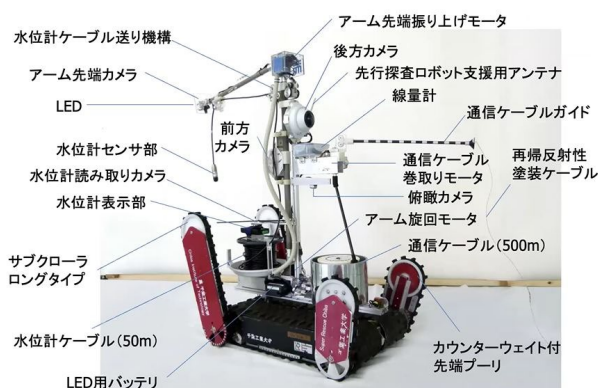
レスキューロボットとは何かということを考えると、この ASR のレベル 1 からレベル 5 の中で人命救助を考えた場合に、どこにどのように組み込まれて、そこでどのように貢献するのかというユーザーの要求に合ったソリューションを出していく、ということになります。

私自身は、1995 年に阪神大震災でひどい目に遭って以来、2002 年から文部科学省の大大特(大都市大震災軽減化特別プロジェクト)を主催するなど、様々な研究開発の旗を振る役割を果たしてきました。

今振り返りますと、この大大特というプロジェクトが災害時のロボットの役割定義に与えた影響が非常に大きいと思います。これまで、上空から情報を収集するものや瓦礫内を探索するものなど様々なものを開発してきた訳ですが、例えば Quince(クインス)のような福島原発で活躍したロボットの元をつくったり、あるいは瓦礫内の探索ロボットやドローンを送り込んだりなど、ロボット防災の扉を開くという役割を、20 数年前に行ったこの大大特が果たしたと考えています。

福島第一原発に初めて投入された国産ロボット

福島第一原発事故：原子炉建屋に 初めての国産ロボットとしてQuinceを投入



左図が Quince(クインス)というロボットです。多くの方がご承知と思いますが、福島第一原発事故で原子炉建屋内に初めて投入された国産ロボットです。

Quince は、東北大学、千葉工業大学、それから国際レスキューシステム研究機構、その他幾つかの組織が共同で研究開発をしていたもので、このプロジェクトが終わる段階になって福島原発の事故が起きました。その当時、これ以外のソリューションが無いという状況の中で、このロボットを提供して何らかのお役に立つことができました。

私はそれまで原子力ロボットをやったことがなかったのでよく分からなかったのですが、原子炉建屋内の厳しい環境の中で動き回って情報収集するというニーズに対して、線量マップをつくったり、テストサンプリングをしたりして、このロボットがお役に立ててよかったと思っています。

一方、これはある程度お役に立った成果ゆえかもしれませんが、当時、日本のロボットはどうしたのかとお叱りを受けることにもなりました。しかしながら、日本では災害に対しての備えをしていなかったのだからロボットがある筈もなく、私のような門外漢がしゃしゃり出てお役に立ったというのは、非常に変な話だったなと思わざるをえません。

<井川 玄氏>

DXに必要な形式知化 (1) 人に見えないもの

ところで、ここでもう一つ、プラント業界のみならず様々な製造業界でデータ化・オンライン化・形式知化が全くなされていない部分がありますので、それを説明します。

それは、現場オペレータ・作業員周りのデータです。

例えば、配管や機器の経年変化を知るべく、現場オペレータの目視チェックが行われます。また、配管やポンプの異常で漏洩・振動・異音などがあった場合には、現場オペレータが五感で気付きます。更に、現場指示計については、オペレータが巡回する際に指示値を読みます。現場指示計は、リモートセンサーと常に一対一で設置されています。これはどういうことかという、リモートセンサーの値がおかしい時は現場指示計の値を読み、2つの計測値を比較して、そこに故障の予兆を見つけて対処しているということです。また、中央制御室では知る事の出来ない現場情報としては、多数の手動弁開閉の現在の状態というものがあります。手動弁を操作するのも、やはり現場オペレータの役目であり、その手動弁の開閉具合が硬かったり柔らかかったり、以前との状態の違いを知っているのは、現場オペレータしかいません。

現場オペレータ周りで得られるこれらの情報に関して、「データ化・オンライン化・形式知化」が全くなされていません。このことが、プラント業界や製造産業現場において、完全なる自律運転を目指す上で、今後最も大きな課題となることでしょう。

製造ライン工場において、次世代スマート工場を目指すべく、MES (Manufacturing Execution System. 略してメス。日本語で「製造実行システム」)の導入検討が欧州を中心に進んでおり、最近日本でも進められています。この MES を中心とした次世代工場構想においても、現場オペレータ周りの情報に関して全く「データ化・オンライン化・形式知化」されていないことが、今後大きな壁になってくると予想しています。

現在、殆どの方がそんな情報のデータ化は無理だとおっしゃると思いますが、私はそうは思っておりません。本日のテーマである自律走行ロボット、そこに搭載する様々なセンサーは、既に人間の視覚・聴覚・嗅覚を越えています。

右写真は、コニカミノルタ社製の特殊赤外線カメラで可燃性ガスが漏洩する姿を捉えたものです。これは写真なのですが、YouTube にアップロードされた動画をご覧頂くと、このカラフルな色、つまり漏れた可燃性ガスが、ユラユラと漂って流れていく光景が見ることができます。この状態を、水蒸気や人の動き等の様々な外乱に影響されることなく、約 180m の離れた距離から感知できます。また、カメラの信号からノイズを除去する事で可視化が可能になります。弊社はこのノイズ処理技術で支援をさせて頂きました。このカメラをロボットに搭載していくことで、ロボットが人間の感知を遥かに越えることができます。



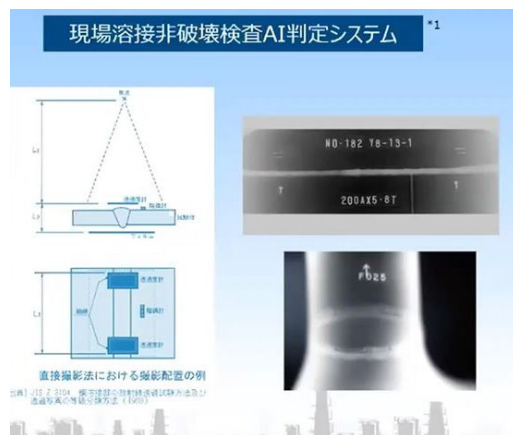
特殊赤外線カメラが捉えた可燃性ガスの漏洩状況

また、オペレータが現場指示計のデータを見て、この状態を無線機で中央制御室のオペレータに口頭で伝える際に、例えば指示値が波を打つように変動していたりした場合、これを口頭だけで正しく伝える事は難しいです。しかし、ロボットなら現場指示計を撮影し画像解析をして、指示計の状態を数値データとしてリアルタイムでアップロードすることが可能です。

もう一つ、現場オペレータ周りの情報取得における重大な欠点は、「形式知化」されていないということです。人間が視たり・聞いたり・触れたり・臭いを嗅いだりする時に、人に拠って大きな差異があるので、つ

まりこれらを「形式知化」することが難しい。この問題が、今後現場とデジタルツインを連携させていく時に大きな障害になるのではと考えています。

DXに必要な形式知化 (2)ベテラン作業者でもわからないこと



現場溶接非破壊検査 AI 判定システム

更に、人からの情報取得が「形式知化」されていないことの例を説明します。

5 年前に、弊社の社内で「プラント現場溶接における非破壊検査の AI 判定システム」の開発実証を行って特許を取得したのですが、その時に判明したことがあります。

この X 線写真での溶接合否判定は、非破壊検査の認定資格者による JIS の検査判定基準に従った厳格なものです。資格を持たない素人では見落としてしまうような僅かな不具合でも正確に認識した合否判定となっています。この写真の中で小さい矢印で示されている箇所が不具合箇所なのだそうです。とても素人では判別しづらいレベル

です。

これらを AI に学習させるのですが、最初の段階では、溶接部の X 線写真とそれについての有資格者の詳細な判定結果としてトレーシング・ペーパー上に彼らが発見した不具合箇所を記した学習データを準備して、それらを AI に学習させました。そしてそこから AI 学習用のデータを増やして行くと、AI は判定精度を徐々に上げていきました。

そして驚いた事に、AI は、学習の為に教師データを作成した A、B、C 3 名の有資格者のそれぞれの合否判定基準が「甘い」「厳しい」「中間」と、明確に 3 つに別れることを判定したのです。有資格者が JIS 基準に沿って細かく検査をしても、人間の視覚による判定では大きなバラツキが出てしまうのです。それが判りましたので、その後は教師データの品質を揃えるようにして、更なる AI 学習をさせました。

この結果が示すことは、たとえ資格を持つ専門家が JIS 基準に準じて判断していたとしても、その合否判定結果にはかなりバラツキがあるということです。一方、未だ余り学習が進んでいない AI であっても、明確にぶれない「形式知化」された AI 判定ができるということです。つまり、残念ながら、情報を取得して活用するために必須な「形式知化」は、人においては個々の感覚の違いによるバラツキが大きすぎて不可能であることが判ります。