

# 特集にあたって

辻田 哲平 (防衛大学校)

## 1. はじめに

本特集「国際人道法遵守のためのロボット運用システム」は、防衛大学校グローバルセキュリティセンターで行われている統合先端科学研究「武力紛争の人道化に向けた遠隔操縦ロボット用統合状況把握システムの開発」の研究成果の一部を紹介するものである。文民などの武力紛争において犠牲になりやすい人々の保護のために、科学技術を用いて何かできることはないかという意思をもった研究者が集った研究グループで、理系・文系の垣根を取り払い活発に議論をしながら進めているプロジェクトである。

武力紛争が生起しないことが最も望ましいのは言うまでもないが、ロシアによるウクライナ侵攻をはじめ、武力紛争は現在も起きている。現実的視点から経験に基づいて戦争・戦闘を規制して、できるだけその被害を減らすことを目的に、何世紀にもわたり作り上げられてきた人類の知恵が国際人道法 (IHL, International Humanitarian Law) [1] である。本プロジェクトでは、この国際人道法に基づいた犠牲者保護に対して、ロボット技術で貢献することを模索している。本特集では、本プロジェクトの概要について本記事で示した後に、自律型兵器システムを巡る主要な国際法上の問題を整理する。そして、本研究プロジェクトで提案している国際人道法遵守のためのロボット運用システムに必要な技術的要素について紹介する。

## 2. 本研究プロジェクトの狙い

近年、人工知能技術 (AI, Artificial Intelligence) の発展に伴い、自律型致死兵器システム (LAWS, Lethal Autonomous Weapons Systems)、特に完全自律型の致死兵器システムについて賛否両論が語られることが多い [2-4]。しかし、その多くは断片的な情報に基づいた概念的な議論のみで、実物のロボット・センサを用いて、どのような危険性が存在し、どのように規制すべきかを公に論じている具体的な研究は見当たらない。一方で、武力紛争の現場では十分な議論がなされないまま、ロボット兵器システムの利用が進みつつあ

表 1 論文誌のキーワード検索結果 (2022 年 8 月 1 日時点)

論文誌	JRSJ	TORSJ	JORSJ
収録数	6,253	193	2,061
キーワード	該当件数		
安全保障	13	0	0
戦争	44	0	2
武力紛争	0	0	0
兵器	23	0	0
致死兵器	0	0	0
AI 兵器	2	0	0
自爆ドローン	0	0	0
国際人道法	1	0	0

り、ロボット兵器システムによる攻撃の規制方法を確立することは喫緊の課題である。Arkin らのロボット兵器システムについての先駆的な研究においても、シミュレーションによる検証のみに留まっており、攻撃対象を識別する際の誤判定や時間的な状況変化といった問題は取り扱っていない [5]。本研究では、紛争とは無関係の文民たる現地住民等が国際人道法に違反した攻撃に晒されないようにするために、実センサや実ロボットを用いてロボット工学および国際法学の観点から検討する。

国内においては、ロボット兵器システムに関して技術的な観点からの議論は消極的のように思われる。科学技術情報発信・流通総合システム (J-STAGE) [6] 上で、ロボット工学分野の代表的な学会である日本ロボット学会の学会誌である日本ロボット学会誌 (JRSJ)、本学会の日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌 (TORSJ) および日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌 (JORSJ) の内容に対してロボット兵器システムに関連すると思われるキーワード「安全保障」、「戦争」、「武力紛争」、「兵器」、「致死兵器」、「AI 兵器」、「自爆ドローン」「国際人道法」で検索を行ったところ、表 1 に示す該当件数であった。表 1 の論文誌名の下に各論文誌の論文収録数を記載しているが、収録数に対して少数しか該当していないことがわかる。

該当件数が比較的多かったのは、日本ロボット学会誌であった。日本ロボット学会誌では、人文社会学系

研究者からの報告もあり、たとえば文献 [4] では倫理面からソーシャル・ロボットや自律型兵器に関して論じている。一方、工学系研究者からの報告で前述のキーワードに該当したものは、地雷探査除去ロボット [7, 8] に関するものがほとんどであった。武力紛争の犠牲者を保護する研究として、地雷探査除去ロボットも重要な研究である。近年のロボット工学の発展にもなっており戦場ですでに用いられているドローンや今後用いられるであろうロボット兵器システムについての工学系研究者の立場からの議論については、これらの学会誌のなかで見当たらなかった。もっとも、たとえば文献 [9] は、長年医用ロボットの研究を行ってきた研究者が、手術ロボットと戦争の関係性という直接的にロボット兵器システムに関する議論ではないが、ロボット開発における倫理性的議論の必要性について述べており、各研究者のなかには武力紛争と科学技術の関係性について問題意識が存在すると思われる。

日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌では該当はなかったが、日本オペレーションズ・リサーチ学会論文誌の和文アブストラクトで該当した文献は2件であった。そのうち文献 [10] は、戦火で焼け出された難民が敵襲を避けながら安全地帯に移動するには、どう行動すべきかといった問題を取り扱っている。科学技術を用いて武力紛争の犠牲者を保護する方法を検討している点において、前述の地雷探査除去ロボットと同様に、本研究と理念を同じくするものと思われるが、1986年の論文でありロボット兵器システムの利用についての議論が活発化する前の論文である。

ロボット兵器システムについて賛否両論があるなかで、一部の研究者は学会以外の場所でその意見を積極的に表明 [11] しているが、これらの学会内において、工学系研究者自らが反対であれ賛成であれ議論が積極的に行われていないことに疑問を感じている。筆者個人としては、長期的に武力紛争といったような手段に頼らなくてよい社会の実現を目指しつつ、科学技術を活用して目下の武力紛争の犠牲をできる限り減らす取り組みについて、国内の工学系研究者の間でも自ら技術を生み出す者として責任をもって議論をしたいと考えている。そこで、ロボット兵器システムやロボット工学とも関係性が深いと思われる本誌で特集を組ませていただく機会を頂いた。3節で、本プロジェクトで提案している国際人道法遵守のためのロボット運用システムの概要について説明し、細部の説明については本特集の各記事に示す。4節では、各記事の本プロジェクトにおける位置づけを纏める。

### 3. 国際人道法遵守のためのロボット運用システムの概要

#### 3.1 想定する状況

本研究では、A国とB国が国際的武力紛争状態にあるとして、ロボット技術により武力紛争の犠牲者保護を行う方法について議論する。両国は国際人道法の一つである、ジュネーブ諸条約第一追加議定書 (AP I, Additional Protocol I to the Geneva conventions) を批准していると仮定する。

想定する状況として、B国との国境に隣接するA国の軍事基地近辺での戦闘を想定する。図1に示すように、衣服の下に威力の高い爆発物を隠したB国の者(対象者)が、国境を越えて侵入しA国の領土内にある基地に向かって徒歩により近づき、A国の軍事要員および軍事施設を狙って自爆攻撃を試みるが、周囲の文民に巻き添え被害が出てしまう状況を想定する。攻撃を阻止するために、A国のオペレータが遠隔操縦型歩哨ロボットを用いて対象者に対処する。

この状況において、オペレータが選択する対処行動として捕獲などの非致死性的手段も存在するが、本研究では、その可否によって重大な結果をもたらす攻撃から取り扱うことが重要との考えから、運用規制フレームワークにおいて、攻撃の規制方法を実装する方法について示す。仮に、オペレータがロボットを用いて対象者を殺傷するような指令を発しても、それが法的妥当性を欠く場合は、中止を指示するシステムを目指す。

#### 3.2 運用規制方法

付与された状況において、攻撃に至るまでには、対象者が軍事目標であるかどうか、そして、軍事目標であったとしてもその攻撃方法が妥当であるかといった点について区別原則、比例性原則、予防原則 [1] の観点から確認をする必要がある。本研究では、センサ情報などから自動的に法的指標を導き出し、図2の運用規制ブロックに入力する。運用規制ブロックでは、これらの指標を元に総合的に判断し、攻撃の可否をオペレータにアドバイスする。法的指標として、「確からしさ」、「エフォート」、「交戦者とのつながり確率」、「軍事的利益」、「付随的損害」の五つの指標を検討している。各原則と法的指標の関係を纏めると、表2のようになる。各原則と法的指標の関係についての詳細については、文献 [12] を参照されたい。

現時点で、各指標から合法か違法かを導く方法は存在しない。そこで、初期段階では、図1に示した状況を実験室内に再現し、国際法を専門とする複数の研究

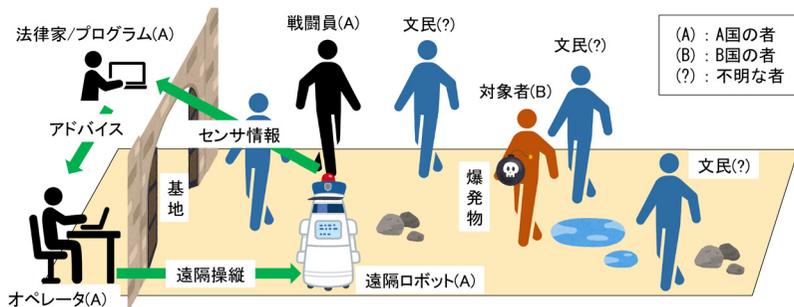


図1 想定する状況

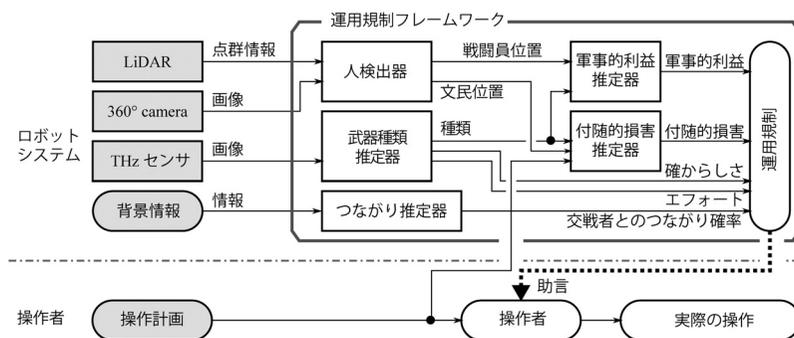


図2 歩哨ロボット用運用規制フレームワーク

表2 国際人道法上の原則と提案指標の関係

	区別原則	比例性原則	予防原則
確からしさ	○		
エフォート			○
交戦者とのつながり確率	○		
軍事的利益	○	○	
付随的損害	○	○	

者・実務者に合法か違法か判断してもらい、その結果を記録する。その後、教師あり学習の教師データとして専門家の判断を使用し、新たな状況に対して自動的なアドバイスの生成を目指す。一方で、学習アルゴリズムによってもたらされるアドバイスをもとに、最終判断はオペレータが行う Human in the Loop 形式を採っているのは、学習アルゴリズムの結果が 100% 正しいとは限らないからである。

#### 4. 本特集の構成

##### 4.1 科学技術・イノベーションと国際安全保障法制

本研究では、「完全自律型 (Fully Autonomous)」ではないが自律型兵器システムに分類される遠隔操縦型の歩哨ロボットを対象とし、使用時における関連国際法規則の遵守能力を確保できるようにする取り組みを

行っている。本特集の黒崎将広氏による「科学技術・イノベーションと国際安全保障法制—自律型兵器システムの適正な研究開発利用のための法的視座—」では、本研究の背景として AI 技術の軍事利用の文脈で現在大きな注目を集めている自律型兵器システムをめぐる主要な国際法上の諸問題を使用段階と研究開発段階に分けて整理し、わが国を取り巻く安全保障環境に応じた透明性のある同システムの適正な研究開発利用を考えていくうえでの法的視座を提供する。

##### 4.2 テラヘルツ波を用いた金属物検知

図 1 に示した状況において、遠隔操縦型ロボットによって対象者が爆発物を持っているかどうかを明らかにする必要がある。図 2 に示した武器種類推定器にテラヘルツセンサの信号を入力し、武器の種類、その情報がどれくらい信用できるかを表す「確からしさ」、その情報を得るためにどれだけ努力したかを数値化した「エフォート」を算出する。また、ロボットに搭載されている LiDAR (Light Detection And Ranging) と全方位カメラの情報から、その対象者と周囲の人の位置関係を割り出し、武器の種類から予想される「軍事的利益」(例：A 国の戦闘員の被害者数)や「付随的損害」(例：文民の被害者数)を予測する。本項目に関する基礎研究について本特集の山田俊輔氏による「テラヘル

ツ波を用いた金属物検知」で示す。

#### 4.3 遠隔操作マニピュレータによるボディチェック

テラヘルツセンサは、2~3 m の距離から離れて対象者の衣服の下に隠した金属物を検出できるといった利点があるが、詳細形状を把握するには画像が鮮明でないといった問題がある。このため、より武器の有無、種類を正確に把握し、「確からしさ」を上げるためには、従来から行われているボディチェックが有効である。ボディチェックは、金属探知機を人体表面から数センチの距離で振りかざす必要があり、人が対象者に接近する必要がある。この際に、対象者が自爆攻撃などをしかけてきた場合、巻き添えになる可能性がある危険な作業である。そこで、この作業を遠隔操作マニピュレータで行うシステムについて小職らによる「遠隔操作マニピュレータによるボディチェック」で紹介する。

#### 4.4 クローラ型移動ロボットを用いた路面状況の評価方法

警備対象エリアで、センサを積んだロボットを移動させ爆発物を所持している可能性のある対象者を発見するためには事前にそのエリアの地図が必要である。また、本研究では自動運転自動車などとは異なり、舗装された道路のみならず悪路の上を移動することも想定される。このため、地図情報に路面状況を付加し、ロボットの移動経路計画に反映する必要がある。路上に存在する石やぬかるみなどを避けながら移動できるようにすることを目指している。本項目に関する基礎研究について本特集の江藤亮輔氏による「クローラ型移動ロボットを用いた路面状況の評価方法」で示す。

#### 4.5 混雑環境における移動検問ロボットの開発および OR 手法の応用の検討

警備対象エリアにおいて不特定多数の人が往来する状況で、歩行者が不審物を有していないかスクリーニングする必要がある。空港の検査エリアのように、ゲート式の金属探知機のなかを歩行者に通過してもらうことも想定されるが、人の往来を妨げる。そこで、移動ロボットにテラヘルツセンサを搭載して、ロボットが人に近づくことで往来を妨げることなく不審物の検知を行う。また、効率的にスクリーニング作業を行うために、自律的にロボットを移動させる。なお、不審物を有している人が発見された後の対応については、ロボットを遠隔操縦モード切り替え、オペレータの責任の下、3.2 節で示した運用規制方法に沿って操縦を行う。図 1 のように複数の歩行者が歩いている状況で、テラヘルツセンサで服の下に不審物を隠していないか

確認するために、ロボットができるかぎり多くの人に対してテラヘルツセンサの撮影可能範囲内に接近する方法について OR 手法を適用した。本項目の詳細については、本特集の佐久間大氏らによる「混雑環境における移動検問ロボットの開発および OR 手法の応用の検討」で示す。

## 5. おわりに

本特集では、国際人道法に基づいた犠牲者保護に対してロボット技術で貢献することを模索し、検討を行った事例を紹介する。科学技術を活用して目下の武力紛争の犠牲をできる限り減らす取り組みについて、国内の工学系研究者の間でも自ら技術を生み出す者として責任をもって議論をしたいと考えている。われわれの取り組みについて紹介する機会を与えていただいた本誌の編集委員会に感謝するとともに、本特集をきっかけに国内でも自律型ロボット兵器システムのあり方に関する議論が活発になることを期待する。

**謝辞** 本研究は、防衛大学校先端学術推進機構グローバルセキュリティセンター統合先端科学研究として実施した。

## 参考文献

- [1] 黒崎将広, 坂元茂樹, 西村弓, 石垣友明, 森肇志, 真山全, 酒井啓亘, 『防衛実務国際法』, 弘文堂, 2021.
- [2] R. C. Arkin, “Ethical robots in warfare,” *IEEE technology and society magazine*, **28**(1), pp. 30–33, 2009.
- [3] ポール・シャーレ (伏見威蕃訳), 『無人の兵団—AI、ロボット、自律型兵器と未来の戦争—』, 早川書房, 2019.
- [4] 久木田水生, “ロボットの倫理”, 日本ロボット学会誌, **38**, pp. 18–22, 2020.
- [5] R. C. Arkin, *Governing Lethal Behavior in Autonomous Robots*, CRC press, 2009.
- [6] 科学技術情報発信・流通総合システム (J-STAGE), <http://www.jstage.jst.go.jp/browse/-char/ja> (2022 年 3 月 3 日閲覧)
- [7] 柴田崇徳, “人道的対人地雷探知・除去ロボティクスの動向と展望”, 日本ロボット学会誌, **19**, pp. 689–695, 2001.
- [8] 石川潤, 古田勝久, “JST 人道的対人地雷探知・除去技術研究開発推進事業の概要”, 日本ロボット学会誌, **23**, pp. 558–561, 2005.
- [9] 生田幸士, “医療ロボティクスの倫理”, 日本ロボット学会誌, **36**, pp. 270–272, 2018.
- [10] T. Nakai, “A sequential evasion-search game with a goal,” *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **29**, pp. 113–122, 1986.
- [11] 土居貴輝, 佐藤武嗣, “攻撃の最終判断, 人間か AI か「自律型」米中ロが開発急ぐ,” 朝日新聞, 2020 年 6 月 12 日, p. 2, 2020.
- [12] 辻田哲平, 佐久間大, 山田俊輔, 江藤亮輔, 黒崎将広, “国際人道法に沿った歩哨ロボット用運用規制フレームワークの検討”, 日本ロボット学会誌, **40**, pp. 651–654, 2022.