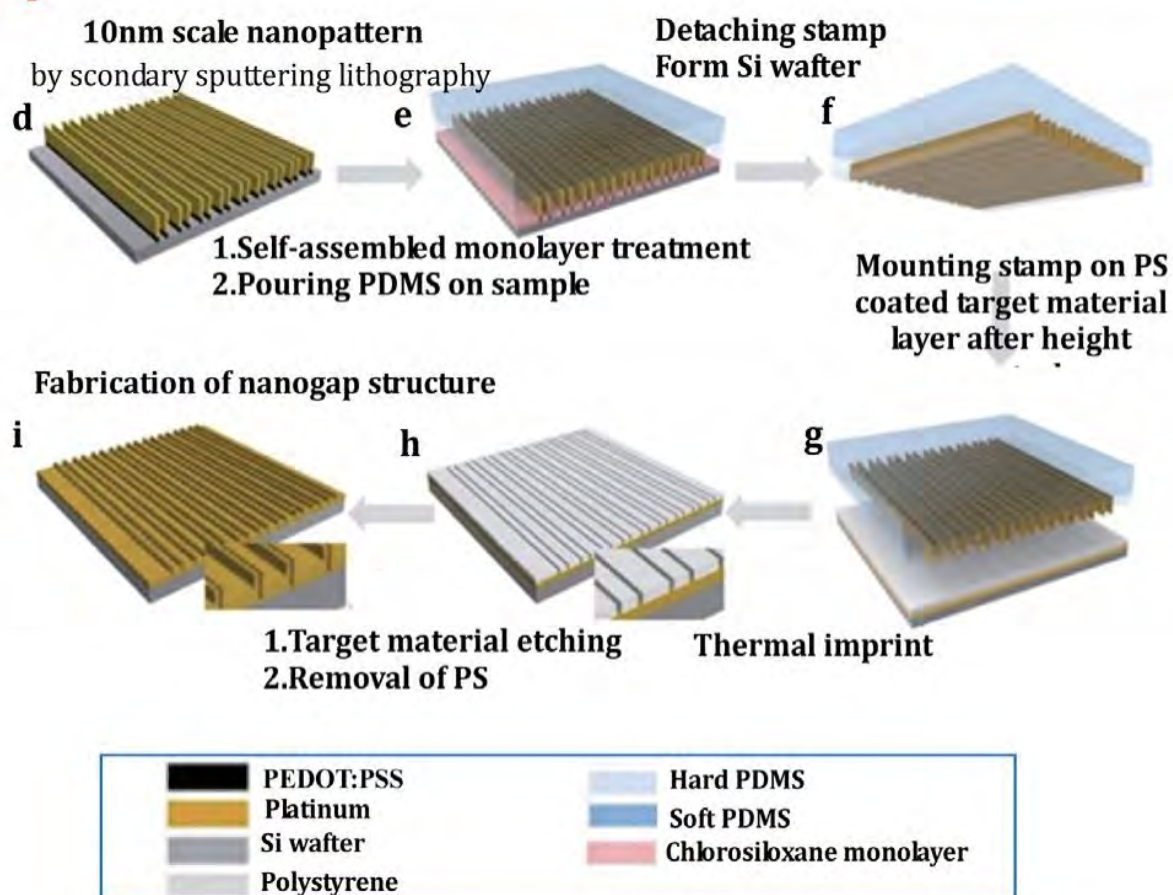


Experimental Scheme



(図 4-4 3D リトグラフによるナノ構造の加工過程¹⁶¹⁾)

¹⁶¹ Jeon HJ, Lee EH, Yoo HW, Kim KH, Jung HT, Fabrication of Sub-20 nm Nano-gap Structures Through the Elastomeric Nano-stamp Assisted Secondary Sputtering Phenomenon. *Nanoscale* 6(11) (2014):5953-5959.

第5節 高度センシング・ネットワークセンシング・ステルス技術 (Advanced and Networked Sensing and Signature Management)

高度センシング・ネットワークセンシング・ステルス技術は自動運転や物流ロジスティクスに至るまで我々の生活と密接に関わるであろう幅広い分野での技術革新が期待される領域である。近年では自動運転技術の発展と共に交通分野でのセンシング技術の議論が日本国内でも活発になっているほか、よりシームレスなロジスティックの実現に向けたセンシング技術の開発も本格化してきている。例えば、衛星からのシグナルを利用した測位システムである Global Navigation Satellite System (GNSS)は、陸海はもちろん民生そして軍事用途でもその応用が期待される極めてセンシティブな技術領域だといえる。本章では、軍民を含めてあらゆる分野で応用が期待されるセンシング技術に焦点を当て、技術のマルチユースの観点からこれまでの技術発展の動向や今後益々重要となる技術領域について分析していく。

1. センサー、センサー処理、ペイロード、計測法、データ統合

(1) 技術の概要

センサー (sensor) とは、知覚できる物理量を検知・検出して別媒体の信号に置き換える装置の総称である。センサーが測定できるものは、機械量や熱、光・放射線、電気、磁気、化学 (においや濃度など)、位置、距離、変位、速度、回転角・回転数、角速度、画像、液体、硬度、湿度、流量、傾斜、地震などさまざまである (センサーによる測定をセンシングという)。ただし、センサーが測定したものはただの数値データである。そこで、被測定量を回路類を通して信号に変換する必要があり、それを解析するためには処理したデータをコンピューターやサーバーに伝送する必要がある。すなわち、物理的・化学的現象を電気的変化に変換して「ただの数値データ」を「情報」に変換・抽出しなければ、取得した情報を利用することはできない。これをセンサー処理 (Sensor processing) といい、センサーが検出したデータをコンピューターやサーバーに伝送する際の「伝送データ」を「ペイロード (payloads)」という。このように収集された (さまざまな) データを統合して幅広く活用する「データ統合 (data integration/data fusion)」を行うためには、データ収集の手段や収集用のフォーマット、結果の採点、分析、解釈の方法を定めなければならない。これを計測法 (instruments) という。なお、データ統合は、一般的に、データを場合分けし (統合対象選定)、対象データを加工し、データを集積するといったステップから構成される。

基本的なセンサーは、単一の物理量 (例えば熱) を検出・処理する。しかし、近年では、スマートセンサー (インテリジェントセンサー) と呼ばれる解析・情報処理能力を搭載したセン

サーの開発が進んでいる。スマートセンサーは、複数のセンサーで一度に複数の測定量を取得し、（自動校正機能を備えている場合は異常値や例外値などのノイズを排除した上で）データを処理して蓄積することができる。

また、センサーを複数組み合わせることで測定した感覚情報を統合してセンシングするセンサー融合（sensor fusion）という技術も発展している。センサー融合は、複合（multi-sensor）、統合（integration）、融合（fusion）、連合（association）と4つの技術に類型化することができる。各技術の概要は以下の表にある通りである。

複合的処理	複数のセンサーから得られた情報を並列的・相補的に組み合わせた出力を得ること
統合的処理	それぞれのセンサーから得られた情報に演算処理を行い、まとめた情報を得ること
融合的処理	ある現象に対して、それを測定する複数のセンサーの出力から、データ同士の処理を行い、1つの知覚を得ること
連合的処理	センサーから得た情報間の関係を調べ、出力を得ること

（図 5-1 センサー融合の類型）

他方、センサーをネットワークとして運用するセンサーネットワーク（sensor networks/networked sensors）と呼ばれる技術については、第 15 節で詳述する。

（2）公的利用・安全保障における利用

センサー処理とデータ統合は、商用利用のみならず軍事領域で活用されている。例えば、敵のロケットを解析するレーダー技術や、地上からの信号伝達を監視する航空機やドローンに搭載するシグントツールなどがある¹⁶²。レーダーは例えばドローンの脅威に対抗する際に最も信頼性の高い技術である。対無人機用の最先端のレーダーは、高精度の 3D 位置情報と高速のスキヤニング（通常は数秒かかる更新速度が 0.5 秒）を誇る。敵機を検知すると位置を継続的に監視し、高解像度のカメラ（昼夜問わず使える）で視覚的に捉え、ドローンの回転翼を検出するマイクロ・ドップラー・レーダー技術と高度な AI による画像解析により敵機を詳細に分析することができる。また高精度な 3D 位置情報の即時更新により、敵機を撃退する際に高精度で攻撃することができる。

センサーとデータを用いたシグントツールの一例としては、敵対者の通信を傍受、データ伝

¹⁶² 以下は英 Qi net i Q 社の事例を中心とした

送を取得し、方向検知・距離測定・追跡機能などを組み合わせることで相手の送信機の位置を特定する技術が挙げられる。アナログ、デジタル、携帯電話、無線機（衛星携帯電話等）などをトラックすることで、広大な作戦区域で敵を瞬時に検知し、検出した情報を地図上にプロットすることで作戦状況の把握に寄与する。

ペイロードの事例としては、ドローンと地上ビーコンを連携した空中でのペイロードの利用がある。例えば特殊部隊がターゲットの車両にビーコンを設置すると、空中のペイロードを介してビーコンを制御することで、スタンドオフ・トラッキングを実現できる技術がある。GPS タイムスタンプ、位置・加速度計の状態をセンシングすることで、標的の動きを詳細に分析することができる。

また、敵の通信やその他の電磁信号を広い範囲をスキャン、高周波エネルギーを検出して指定された周波数範囲内のすべての信号を表示、さらに探査するために特定の信号を探し出す技術もある。こうした技術を用いたシステム複数をネットワーク化することで、関心のある信号の位置固定や、完全な情報画像のための情報の共有が可能になり、より大きなシステムの一部として統合や相互運用を可能にすることができる。

(3) 小括 — 当該技術の喪失・窃取・劣位が発生することで生じる問題／リスク

監視と偵察のデータ統合は、攻撃手段の多様化を背景に、脅威の検出と防衛の緊急性から生じている¹⁶³。センサー／処理、測定法、ペイロード、データ統合技術の軍事利用は大幅に進展している。当該技術は、わが国でも民生利用上広く用いられているため喪失・窃取されることはないが、当該技術の軍事利用の面ではすでに劣位が生じている。現在の戦闘はミサイルやドローンなどを用いた形態に進化しているため、当該技術の軍事上の劣位は安全保障上のリスクであると評価できる。

2. 補償光学

(1) 技術の概要

補償光学 (adaptive optics) は、光波の歪みを実時間で計測して補正する技術であり、天体を撮影する際に問題となる大気のゆらぎを解決するために開発された光学技術である。この補償光学技術は、1953年のバブコック (Horace Babcock) のアイディアに始まり、1990年代に天

¹⁶³ Robert K. Ackerman, “Surveillance Data Fusion Defines Future Army Systems,” *SIGNAL*,

<https://www.afcea.org/signal-media/surveillance-data-fusion-defines-future-army-systems>

文学で実現し始め、現在では医療や工業、軍事・防衛分野などに幅広く応用されている¹⁶⁴。

原理的には、大気ゆらぎなどの外乱の影響を受けると点物体の像は広がり歪みをもった分布になってしまうため、ぼやけた点の集合として像が形成され、物体の細部が再現されず不鮮明な像となる。例えば天文観測では、外乱の影響により歪んだ光波面が平面波として望遠鏡に入る。そこで、点物体からの光波面が常に平面波として望遠鏡に入るように光の波面を制御すると、外乱の影響によって劣化した像を改善することができる。これを実現するために、補償光学系は、光波の歪みを計測する「波面センサー」、その歪みを補正する「波面補正素子」、波面センサーからの情報に基づき波面補正素子を制御するための信号を作る「制御装置」から構成される¹⁶⁵。

ではこの技術はどのように他分野に応用されているのだろうか。医療分野では、例えば眼底イメージング機器に応用されている。眼底イメージング機器は、眼球を外部から照射して眼球光学系を通して眼底を観察する。そのため、角膜や水晶体に存在する複雑な歪み（高次収差）の影響が避けられず、イメージング機器の性能が制限されていた。ここで、眼底を天体と考え、角膜と水晶体を大気層と考えると、補償光学を利用することで、鮮明な眼底像を得ることがわかる。

(2) 公的利用・安全保障における利用

この補償光学技術を軍事転用したものがレーザー兵器である¹⁶⁶。従来、レーザー光線は乱流に散乱されるだけでなく、大気中を通過することで熱ブルーミングを引き起こしていた。強力なレーザー光線が大気中を伝播すると、空気はレーザー光線を吸収して高温になり、エネルギーが散逸することでレーザー光線が拡散してしまう。そこで、補償光学技術を用いて、鏡を使って乱流の影響を打ち消すようにレーザー光線を自動的に歪ませることで、レーザー光線が大気中を通過する際に大気を整えて首尾よく標的に到達することができるようになる。こうしたレーザー兵器はすでに実用化されつつある。

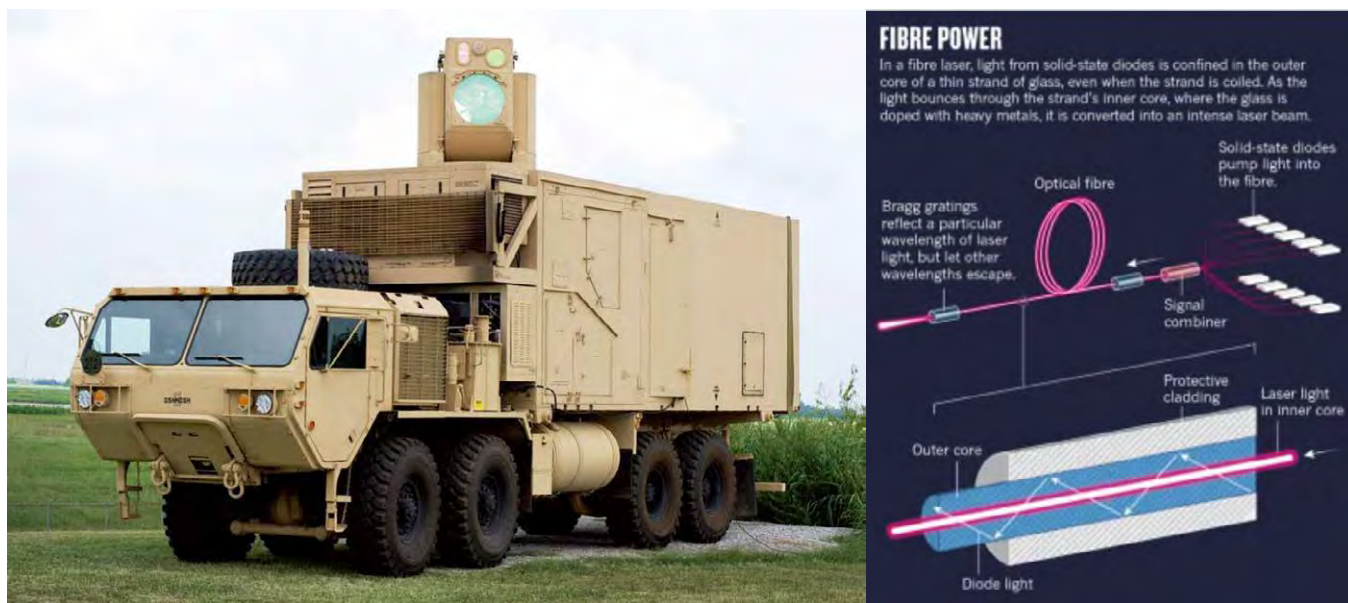
この実用化を支える技術の一つがファイバーレーザーである。光ファイバーは、安価なレー

¹⁶⁴ 家正則「ボケを直す補償光学」東京大学大学院理学系研究科・理学部 (<https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/story/newsletter/takumi/04.html>)

¹⁶⁵ 白井智宏「補償光学」『映像情報メディア学会誌』65巻5号(2011) : 648-653.

¹⁶⁶ “Defense Adaptive Optics Market Report Summaries Detailed Information By Top Key players and Active Optical Systems, LLC (Israel), Adaptica S.r.l. (Italy), Boston Micromachines Corporation (The U.S.), among others,” <https://www.fortunebusinessinsights.com/defense-adaptive-optics-market-105210>

レーザーダイオードから光学エネルギーを集め、それを増幅して高い出力を得るため、電気光変換率が30%以上となる。この効率は典型的な固体レーザーの2倍以上で、COILなどの化学レーザーに近い。また、光ファイバーは細長いため体積に対する表面積の比率が大きく、排熱の効率が高いことから寿命が長い特徴を持つ（図5-2）。



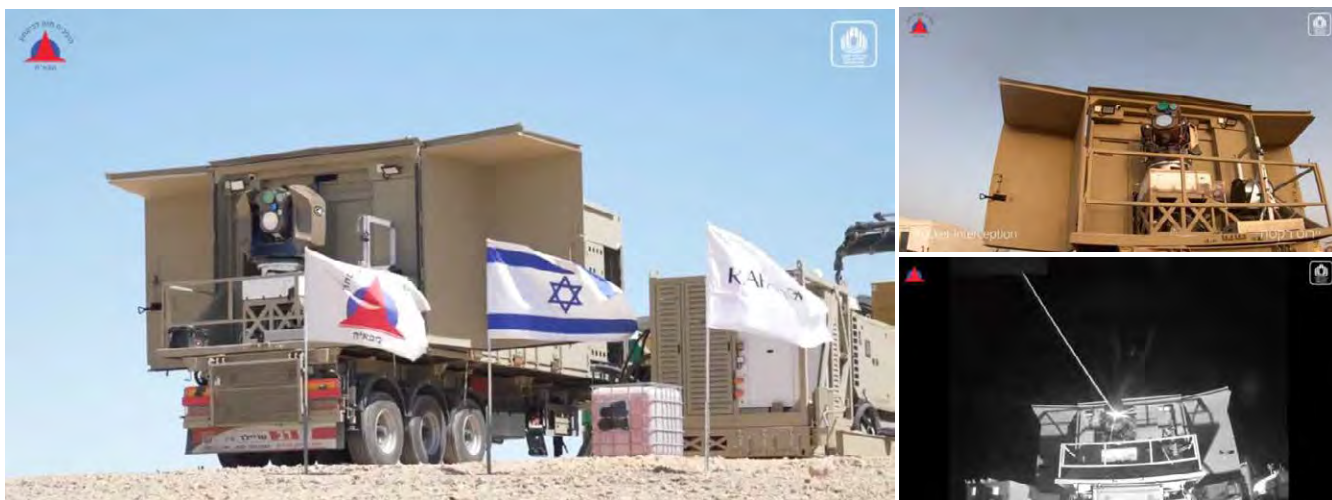
（図5-2 ボーイング社のレーザー兵器 HEL MD（左）とファイバーレーザーの原理（右））

しかし、課題もある。現在のレーザー兵器は天候の影響を受け、曇りや霧がある状況では効果を発揮しない。また、出力レベルの問題もある。ボーイング HEL MD は出力10kWであり、これはレーザー兵器として利用できる下限値である（冷戦時代に目標としていたメガワット級に比べる桁が違う小ささである）。高出力になると光ファイバーの中を大量の光子が通るためにエネルギーの放射熱により光ファイバーが損傷してしまうため、レーザー光線の出力が制限されている。この問題を解決するために、現在は複数のレーザー出力を結合する技術の開発が進められている¹⁶⁷。

加えて、通常の対空ミサイルによるミサイル迎撃システム（例：アイアンドーム）と異なり、レーザー光線は1つの標的を迎撃してから次の標的に標準を合わせるため、複数の脅威備えるには多くのシステム配備を必要とする。そのため、アイアンドームの迎撃費用が1発あたり数万ドルなのに対してレーザー兵器のアイアンビーム（図5-3）が1発約3.5ドルと安価であるにもかかわらず、配備コストがまだ高い開発段階にある。現在イスラエルは雲上の脅威を迎撃できる

¹⁶⁷ Andy Extance, “Military technology: Laser weapons get real,” *Nature* 521 (2015): 408-410.

空中高出力レーザーの開発に取り組んでいるが、開発には何年もかかるとされている¹⁶⁸。



(図 5-3 イスラエル製アイアンビーム)

(3) 小括 — 当該技術の喪失・窃取・劣位が発生することで生じる問題／リスク

補償光学の技術は、経済領域では医療や工学、軍事領域ではレーザー兵器に応用されている。その日本は経済領域での当該技術の研究開発は進んでいるが、軍事領域（レーザー兵器開発）では劣っている。ただし、補償光学とレーザー兵器開発は最終的に現在の兵器体系を代替するレベルにまでは至っておらず、実践配備には時間もかかると思われる。したがって、リソースが限られている中、本技術を選択し集中するという判断には慎重な姿勢が求められている。

3. 地球観測リモートセンシング

(1) 技術の概要

リモートセンシングとは、遠隔（リモート）から対象物に触れることなく物体の形状や性質などを観測する（センシングする）技術である。地球観測リモートセンシング（remote sensing of the earth）とは、すなわち、地球観測衛星を用いた地球のセンシングのことを指す。地球観測リモートセンシングは、主に地球から放射されるさまざまな波長域の電磁波を観測することで、大気や地表面近くの状態や自然現象を測定している（図 5-4）。

¹⁶⁸ Isabel Kershner, “Israel Builds a Laser Weapon to Zap Threats Out of the Sky” New York Times, June 3, 2022. <https://www.nytimes.com/2022/06/03/world/middleeast/israel-laser-rockets.html>



(図 5-4 さまざまな波長域の電磁波を観測する衛星 (出典：JAXA))

技術的に見ると、地球観測リモートセンシングには、地球の表面で反射した電磁波を観測する方法（可視光・近赤外）や、地球放射を観測する（熱赤外・マイクロ波）方法などがある。可視光・近赤外の波長帯の光は太陽光に多く含まれ、地表面の状態（植物、土、水など）によって反射される電磁波の波長が変化するため、その特性を利用することで地表面の土地被覆情報（都市か森、及び植生の種類等）などが衛星データから得られる。一方で、熱赤外・マイクロ波の波長帯の光は、地球（地表面や大気）が放射する光に多く含まれており、地球放射を観測することで、地表面の温度や大気に含まれる水蒸気量などの状態を測定することができる。

このような放射光・電磁波を受け取るセンサーを「受動型センサー」と呼ぶのに対して、能動的に電磁波を照射し、その反射・散乱光を観測する「能動型センサー」を搭載した地球観測衛星もある。能動型センサーの応用事例としては、レーザー光を使用したライダーや、マイクロ波を利用したレーダーがある。ライダーはセンサーからレーザー光を照射し、対象物から反射して戻ってくるまでの時間を観測することで対象物までの距離を測定できる。また、反射強度や反射波を記録することで対象物の特徴を分析することができる。レーダーは、衛星から照射したマイクロ波に対する対象物の散乱の強度（後方散乱係数）を測定できる。地球観測衛星に搭載した合成開口レーダーを用いた測定により地表面の状態や地形、森林、災害の状況などの把握に使用されている。

(2) 公的利用・安全保障における利用・民生利用

地球観測衛星はそれまで高軌道の上に大きな衛星を配置するのが基本であったが、再利用可能なロケットと小型衛星の技術進歩によって、一回の打ち上げでより多くの衛星を使用できるようになり、衛星の大規模なコンステレーションが実現した。民間企業は、マイクロエレクトロニクスの進化、小型衛星、軌道投入コストの低下により、低軌道観測衛星コンステレーションを急増させた。

こうした商業的進歩と、合成開口レーダー（SAR）や無線周波数（RF）マッピングによる可視および赤外線スペクトルの感知能力の組み合わせにより、移動目標の表示から妨害電波の迅速な位置特定に至るまで、新しい商用および安全保障上の用途が創出された。

商業的 SAR や RF 衛星から得られるデータは、光学画像の補正に寄与し、敵部隊の動きや活動の特徴をより機微に捉えることを可能にした。このような商用の宇宙センシング能力の進歩と同時にデータの保存（e.g. クラウド）と解析の方法論にも進歩があった。データ分析については本節の主題から外れるためここでは措くが、地球観測リモートセンシングシステムから得られるデータや画像を、人工知能による高度な解析・補正によってより精度が高まっている。例えば、AI は、数日、数週間、数ヶ月にわたる数百枚の画像の集合体から作戦、集団行動、部隊態勢のパターンを判断し始めることができるようになっている。AI は、人間の認知能力では検知できない何百もの一見異なる変数の微妙な変化を検出することができる。機械は宇宙から観測されるすべての領域、活動場所、情報源から同時にデータを収集し、アルゴリズムに情報を提供することで絶えず精度を高めていける¹⁶⁹。

(3) 小括 — 当該技術の喪失・窃取・劣位が発生することで生じる問題／リスク

地球観測リモートセンシングは、センサーや衛星の進歩によって民生上・軍事上その利用用途が大きく拡大している。ただし、小型衛星のコンステレーションは米 Starlink や Blue origin のみならず、中国や各国も大規模な構想を発表している中、利用可能な低軌道宇宙空間は限られており、また国際的に法的拘束力のある統一的な規制が存在しないなど、さまざまな課題を抱えている。

こうした技術の重要性が増し、民間・軍事双方での利用用途が拡大し、世界的に競争が激化

¹⁶⁹ 当該技術の軍事上の含意については、例えば Todd Harrison and Matthew Strohmeyer, “Commercial Space Remote Sensing and Its Role in National Security,” *CSIS*, February 2, 2022

(<https://www.csis.org/analysis/commercial-space-remote-sensing-and-its-role-national-security>) を参照。

する中で、当該技術の劣位は、大きな損失をもたらす。そのみならず、空間の奪い合いの側面もあるため、一度遅れを取ったら劣位を取り返せない時間との戦いという側面もある。

4. 新興病原体検出・特性評価技術および健康セクターのセンシング技術

(1) 技術の概要

2019年に始まり世界的なパンデミックとなり多くの死者や経済社会的損失をもたらした新型コロナウイルス感染禍から4年が経った。疾病の流行が世界のあらゆる領域に及ぼす影響の大きさから、新興病原体の検出・特性評価技術やヘルス領域のセンシングの重要性は極めて高いと考えられる。

病原体の検出・特性評価は病原体に応じてさまざまな方法によって行われる。例えば Covi d-19 では、遺伝子検査（PCR や LAMP 法等）と抗原検査・抗体検査などが実施されている。病原体ごとの細かい検出マニュアルは、わが国では感染症法に基づいて標準化のために国立感染症研究所と全国の地方衛生研究所が共同で策定している。それらは極めて重いエボラ出血熱やペストなどの1類感染症から、ノロウイルスやインフルエンザなどの5類感染症まで類型化されて整理されている。病原体検出・特性評価の技術・方法の詳細については、国立感染症研究所のマニュアルを参照されたい¹⁷⁰。図5-5は病原体検査技術をまとめたものである。

	一粒子検出法 (本提案技術)	免疫クロマト法 (簡易検査)	培養法	血清学診断 (抗体価)	PCR法	ELISA法
要する時間	◎ 3分程度	○ 30分	× 数日～数10日	× 10～14日	△ 数時間	△ 数時間
感度	○ 1000粒子 (目標100粒子)	× 5000～ 50000粒子	◎ 30粒子	△ 不明(対象者の 体質による)	◎ 3～30粒子	○～△ 100～5000 粒子 (抗体による)
ランニング コスト	○ 数100円 (予定)	△ 1000円程 度	× 数1000円	△ 1000円程度	○ 数100円	○ 数100円
機器の必 要性(価 格)	△ 必要 (6000千)	◎ 不要	△ 培養設備 (5000千)	△ プレートリ ーダー	△ PCR反応装 置	△ プレートリ ーダー

¹⁷⁰ 国立感染症研究所「病原体検出マニュアル」<https://www.niid.go.jp/niid/ja/labo-manual.html#class1>

	円)		円)	(2000 千円)	(3000 千円)	(2000 千円)
簡便さ	◎ 採取試料の前処理なし	○ 検体採取に技術必要	× 熟練が必要	△ ある程度の熟練が必要	△ 採取試料の前処理必要	△ ある程度の熟練が必要

(図 5-5 病原体検査技術の比較表¹⁷¹⁾)

このように医療分野において病原体の検出・特性評価といった医化学・生理学的な技術の開発が進んでいる一方、同医療・健康領域でテクノロジーの進化・応用も進んでいる。その一つがセンシングである。

そもそも医療業界では従来からセンサー機器が利用されてきた。代表的なものだと X 線や CT、MRI などの検査・医療画像やペースメーカーでは生体情報を数値化するためにセンシングが活用されてきた。これに加え、近年では、ヘルスケア領域におけるセンシングの中で「生体情報センシング」や「行動情報センシング」といった技術がトレンドとなっている。

生体情報センシングは、例えばスマートウォッチのようなウェアラブルデバイスに搭載されたセンサーを用いて、心拍数や脳波、酸素飽和度、体温、血圧、血糖値などのバイタルデータを取得し、そのデータを解析することで対象の健康状態を把握するのに利用されている。こうした健康状態の把握は、身体のみならず精神にまで及び、唾液や心拍などからストレスを計測することができ、メンタルヘルスにも応用されている。対して、行動情報センシングは、姿勢や動作、位置、移動軌跡などの情報を、加速度センサーや GPS などを用いて取得し、動的なデータを得ることができる。このようなリアルタイムで生体データを取得して解析できる技術は、ヘルスケア DX と呼ばれている。

(2) 公的利用・安全保障における利用

パンデミックは、民生・国防を横断する事態である。新型コロナウイルスに関しては武漢の研究所流出説が提唱されたことなどから、改めてバイオテロへの注意も喚起した。病原体検出・特性評価技術は、こうした脅威に対抗する上で鍵となる技術の一つである。

他方で、医療領域における技術的なトレンドとして、ヘルスケア領域におけるセンシングの進歩と活用が挙げられる。とりわけ最近では、電子デバイスの小型化やモノのインターネット化 (IoT) の進歩により、ウェアラブルデバイスを通してヘルスケアのセンシングをする「スマ

¹⁷¹ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「空港検疫、バイオテロ対策向け高感度病原体検出法を開発—5分で感染直後の微量ウイルス等の有無を診断」

https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_0504A.html

ートセンシング」が民生利用上のトレンドとなっている。

軍事上の利用としては、兵士の身体や精神状態の把握、改善にこのヘルスケアセンシングの技術が利活用される。また裏を返せば、バイタル情報は対象の健康状態や今後の体調を予測する重要な示唆を与えるデータが含まれているため、そのデータの取り扱いが肝要となる。すなわち、要人のバイタルデータが敵陣営に取得・悪用されないような対策が求められる。

(3)小括 — 当該技術の喪失・窃取・劣位が発生することで生じる問題／リスク

新型コロナパンデミックを契機に、従来より新興病原体の検出・特性評価の重要性が増している。各国は医療体制や感染症対策、検疫、病原体検査などの法制・現場体制を整え、次の医療的危機への備えを進めている。

5. 生物兵器検出・特性評価技術と先端・ネットワークセンシング、シグネチャマネジメント

(1) 技術の概要

背景

化学兵器とは、化学物質の持つ毒性を用いて人や動物、環境に損害を与える兵器である。国際的な枠組みとして、化学兵器禁止条約が発効しており、化学兵器の使用や開発・生産・保有等が禁止されているものの、北朝鮮やシリアなどが未加盟となっている。

2020年7月に米国陸軍本部が公表した北朝鮮の戦術に係る報告書では、北朝鮮は約20種類、2,500から5,000トンの化学兵器を保有する世界第3位の化学兵器保有国であるとしている¹⁷²。シリアは国内の反体制派に対して度々化学兵器や化学物質を攻撃に用いている。

また、国家ではなくテロリスト等による使用も懸念されている。我が国における事例として、オウム真理教により実行された1994年の松本サリン事件、翌年の地下鉄サリン事件がある。こうした市中での事例は、CBRN攻撃として、生物兵器や放射性物質を用いた兵器(ダーティ・ボム)と同様に対策がなされている。一方、上述のシリアの事例のように、化学兵器は平時の市中だけでなく戦場での使用実績もあることから、戦場等の過酷な状況下での生物剤検知を目指した技術開発も行われている。

研究開発動向

市中の化学兵器検知・動態モニタリング技術

¹⁷² “North Korea Tactics” Headquarter, Department of Army, page.1-11.

ネットワークセンシングに係る事例として、米国 DARPA の SIGMA+(シグマプラス)プロジェクトがある。これ以前に DARPA は都市規模での核物質・放射性物質検出をめざした SIGMA¹⁷³というプロジェクトを実施していた。その後継プロジェクトである SIGMA+では生物、化学をも検知対象とすることを試みている。各種検知センサーをネットワーク化させることで、より広域な地域規模の CBRN 脅威を早期検知することが可能になる。

また、SIGMA+の一環として、2018 年から先進的な化学センサーの開発プロジェクト、ChemSIGMA も行われている。このプロジェクトで開発されている化学センサーは、単独の化学物質センサーというよりは、同じ筐体に化学物質センサーと風速センサーを搭載し、この情報を中央のクラウドに送信し、アルゴリズムを通じて処理することで化学兵器や前駆物質の拡散状況のシミュレーションや化学的脅威の動態把握を行うものである¹⁷⁴。



(図 5-6 : ChemSIGMA による化学物質動態シミュレーションの様子¹⁷⁵)

2019 年 7 月に開催されたモータースポーツイベント、インディ 500 では、DHS が運用する既存

¹⁷³ <https://www.darpa.mil/program/sigma>

¹⁷⁴ ChemSIGMA およびその実験については以下を参照した。

“DARPA Tests Advanced Chemical Sensors

Next-generation sensors for detecting chemical threats put through their paces in SIGMA+ program,”

April 30, 2019. DARPA. < <https://www.darpa.mil/news-events/2019-04-30> >

DARPAtv “ChamSIGMA”, Youtube, April 30, 2019. < <https://youtu.be/95vqUNiIZKc> >

¹⁷⁵ DARPAtv <https://youtu.be/95vqUNiIZKc>

の生物・放射性物質センサー(検出器)と合わせて ChemSIGMA の実験も行われた。この実験では、煙を伴う無害なガスを放出し、その動態をセンサーが正確に測定しているかを確認した¹⁷⁶。

このプロジェクトに参加しているマサチューセッツ州の Physical Science Inc(PSI)は、ChemSIGMA による成果については、SIGMA Chemical Recon and Meteorology: SCRAM として、その利用方法やより詳細な仕様を公表している。SCRAM に用いられている化学センサーは日本でも流通している Smith Detection 社製の携帯用化学兵器・有害工業化学物質の検知・識別器、LCD3.3 である。PSI は、個々の測定器を分散型ネットワークで接続することにより検知能力の向上や、こうしたセンサーの課題である誤報の減少も実現できるとしている¹⁷⁷。

韓国国防開発庁(ADD)は 2021 年 12 月に 2012 年から開発を続けてきた化学兵器による汚染状況を遠隔で検知・監視する「ハイパースペクトル画像スタンドオフ化学検知システム」を公表した。これは、化学攻撃が発生した現場の画像と赤外線のスペクトル情報を分析することで、化学兵器による汚染の広がりを可視化、リアルタイムで監視するものである¹⁷⁸。ADD では、ハイパースペクトル画像技術を化学兵器検知以外の分野にも応用することを試みており、軍事的には隠ぺい、迷彩などの識別による標的検知能力の向上などの効果が期待されている。また、民生用途としては、癌や眼球異常診断といった医療用途、環境モニタリング、農産物の収穫状況把握や森林管理に活用可能であるとしている¹⁷⁹。

¹⁷⁶ <https://www.darpa.mil/news-events/2019-07-02a>

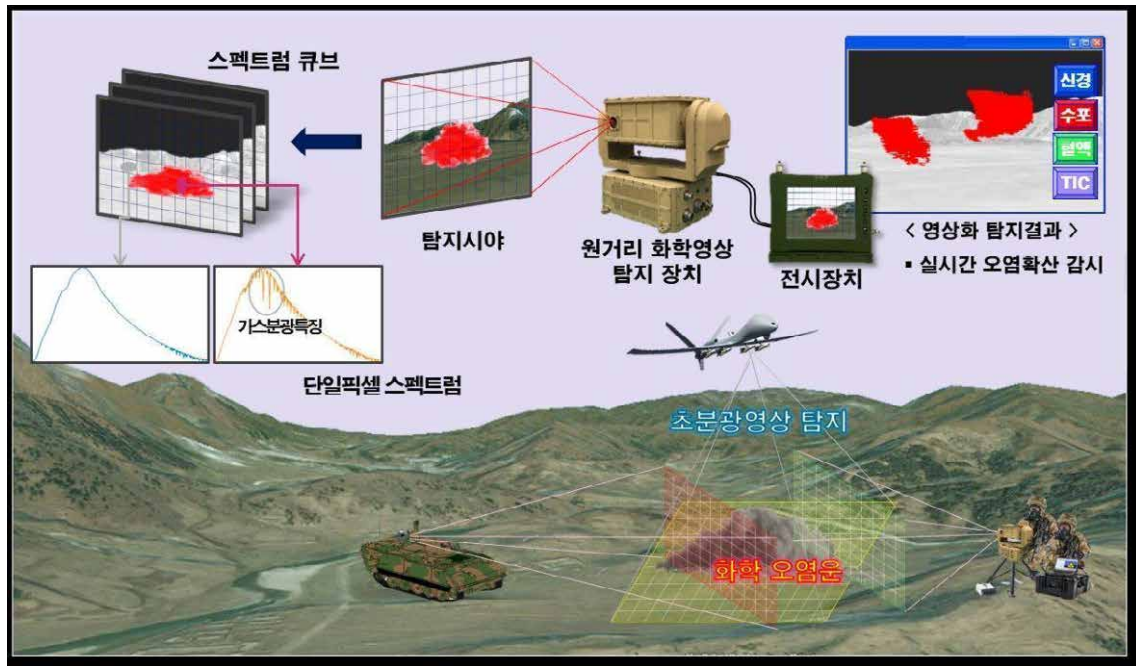
¹⁷⁷ <<http://www.psi.corp.com/products/passive-sensors/sigma-chemical-recon-and-meteorology-scrampersistent-wide-area-networked>>

¹⁷⁸ “S.Korea develops real-time, standoff chemical warfare agent detector,” The Korea Herald, December 8, 2021. Accessed on January 21, 2023.

< <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20211208000645>>

¹⁷⁹ “Hyperspectral Image Equipment,” Agency for Defense Development,

< <https://www.add.re.kr/board?menuId=MENU02359>>



(图 5-7 하이퍼스펙트럴画像スタンドオフ化学検知システム¹⁸⁰⁾)

로봇을 이용한 화학兵器検知等

英国では、国防省の科学技術研究所(Defence Science and Technology Laboratory: Dstl)が 2016 年から化学兵器の検知機器をロボットに搭載し運用するための研究開発プロジェクトであるミネルヴァ(Project Minerva)を行っている。Dstl は国家安全保障に係る研究開発資金配分を行う国防・安全保障アクセラレーター (Defence and Security Accelerator: DASA)を通じ大学や企業に資金提供を行うことでプロジェクトを遂行している。化学脅威発生後の汚染された現場における検出、識別、モニタリング、サンプル採取はファーストレスポnderの要員によって実施される。ロボットがこれを代替することで、現場の状況の効果的な評価や、ファーストレスポnderの要員が受ける潜在的な危険を回避することができる。また、ファーストレスポnder以外の専門家や現場指揮者が事件発生と同時に得られる情報の量・質の向上も目標とされている¹⁸¹。

このプロジェクトの出資を受けたラフバラ大学は、現場に展開されたドローンに搭載され

¹⁸⁰ Agency of Defense Development

¹⁸¹ "Competition document: autonomy in hazardous scene assessment," Defence and Security Accelerator, 25 October 2016.

<<https://www.gov.uk/government/publications/cde-themed-competition-autonomy-in-hazardous-scene-assessment/competition-document-autonomous-systems-to-detect-hazardous-materials>>