

国立国会図書館 調査及び立法考査局

Research and Legislative Reference Bureau
National Diet Library

論題 Title	(コラム 1) レーダーと GPS—自動運転で用いられる軍事分野で発展した技術等—
他言語論題 Title in other language	(Column 1) Radar and GPS: Technologies for Autonomous Driving Developed in Military Domain
著者/所属 Author(s)	久古 聡美 (KYUKO Satomi) / 国立国会図書館調査及び立法考査局外交防衛課
書名 Title of Book	自動運転技術の動向と課題：科学技術に関する調査プロジェクト報告書 (Trends and Issues of Autonomous Driving Technology)
シリーズ Series	調査資料 2017-4 (Research Materials 2017-4)
編集 Editor	国立国会図書館 調査及び立法考査局
発行 Publisher	国立国会図書館
刊行日 Issue Date	2018-03-16
ページ Pages	35-37
ISBN	978-4-87582-809-9
本文の言語 Language	日本語 (Japanese)
キーワード keywords	自動運転、レーダー、GPS、軍事
摘要 Abstract	

* 掲載論文等は、調査及び立法考査局内において、国政審議に係る有用性、記述の中立性、客観性及び正確性、論旨の明晰（めいせき）性等の観点からの審査を経たものです。

* 意見にわたる部分は、筆者の個人的見解であることをお断りしておきます。

国立国会図書館 調査及び立法考査局 外交防衛課 久古 聡美

自動運転で用いられる主要な技術やシステムの中には、軍事分野で発展し利用されてきたものがある。ここでは、その中から、レーダー⁽¹⁾と、衛星測位システム⁽²⁾の代表例である米国の全地球測位システム (Global Positioning System: GPS) について、軍事分野との関係の歴史を紹介したい。

自動運転ではセンサーの1つとしてミリ波⁽³⁾レーダーの活用が想定されている。その基礎となるレーダーの技術は、軍事分野で発展してきた歴史を持つ。レーダーは1900年代初頭にドイツ人発明家により考案されていたが⁽⁴⁾、実用に至る本格的なレーダーの開発は1930年代に始まる。当時、英国、ドイツ、米国などの世界の工業国で、航空機や船舶の探知等に電波を用いることの有効性が認識され始め、各国で個別にレーダーの実用化が進められた。第二次世界大戦 (1939年9月～1945年9月) 中には、参戦国はレーダーを実戦で利用した。特に、英国とドイツは、初めて実戦で本格的にレーダーを使用したことで知られている。

英国は、1935年、ドイツが空軍力を拡張する中で、当時の科学技術を活用した防空システムの構築を模索していた。その過程で、電波が航空機の探知に役立つとする見解が電波の研究者によって提示される⁽⁵⁾。間もなく航空機の探知実験にも成功し、これを受け、英国は開戦前の1939年初めまでに英国の東側沿岸のほぼ全域をカバーするレーダーシステムであるチェーン・ホーム (Chain Home: CH) を整備した⁽⁶⁾。1940年7月～10月の英国本土上空の制空権をめぐる英独の争いにおいては、CHを含むレーダー網の運用が防空作戦に大きく貢献し、ドイツが制空権を獲得できなかった一因となった。他方、ドイツも1933年から海軍の通信試験部においてレーダーの開発に着手し、開戦前の1938年までに陸上設置型の早期警戒用レーダーのフライア (Freya) を導入していた。続いて、空軍も1940年までに射撃管制用レーダーのヴェルツブルク (Würzburg) を導入した。フライアとヴェルツブルクは遠距離での敵機の探知から近距離での射撃管制へと引き継ぐ形で組み合わせて運用され、英国空軍による夜間爆撃にも対処した。

こうした中、英国では、1940年2月に高出力のマイクロ波⁽⁷⁾を発生させる水冷式のマグネト

- (1) レーダーとは、電波を用いて目標を探知し、その位置、速度、特徴を目標から離れたところで計測する技術である。防衛技術ジャーナル編集部編『防衛用ITのすべて』防衛技術協会, 2006, p.102.
- (2) 衛星測位システムとは、人工衛星からの電波によって位置情報を計算するシステムであり、米国のGPSのほか、ロシアのグロナス、EUのガリレオ、中国の北斗、日本のみちびきなどがある。
- (3) ミリ波は、周波数が30～300GHzで、比較的短距離の無線アクセス通信や自動車衝突防止レーダー等で利用されている (「周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴」総務省電波利用ホームページウェブサイト <<http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/#4000559>>)。なお、ミリ波などの周波数帯の呼称は、厳密に定義されていない慣用的なものであり、資料によって周波数の範囲に違いがある。
- (4) ドイツ人発明家のクリスチャン・ヒュルスマイヤー (Christian Hülsmeyer) は電波の反射を利用した船の衝突防止装置 (Telemobiloskop) を考案して1904年に特許を取得したが、当時は需要がなく実用化には至らなかった。
- (5) 国立物理学研究所の無線部長であったロバート・ワトソン=ワット (Robert Watson-Watt) は、空軍省関係者から電波の活用の可能性について意見を聴取され、航空機の探知への利用が可能だとする見解を覚書で提示した。
- (6) CHの周波数は22～50MHz、後述するドイツのフライア及びヴェルツブルクの周波数はそれぞれ125MHz程度、560MHz程度であった (Sean S. Swords, *Technical History of the Beginnings of RADAR* (IEEE History of Technology Series 6), London: Peter Peregrinus, 1986, pp.91-101, 188-197.)。電波の利用を歴史的に見ると、周波数が低い方から高い方へと推移しながら発展してきており、一般的に、周波数が高い方が技術的に高度であると考えられている。
- (7) マイクロ波は、周波数が3～30GHzで、気象や船舶用のレーダー等で利用されている (「周波数帯ごとの主な用途と電波の特徴」前掲注(3))。

ロン⁽⁸⁾が開発された。英国はドイツに対抗するためにこれを同年9月に米国に持ち込み、それ以降、英米両国はマイクロ波レーダーの研究開発で協力体制をとることとなる。こうした中で実用的なマイクロ波レーダーが開発され、レーダー技術の一層の発展へとつながった⁽⁹⁾。レーダーの技術は、このように軍事分野で集中的に開発され発展した経緯があるが、戦後には機密指定が解除されて民間に広まっていき、現在では陸海空交通、気象観測、宇宙探査などに幅広く応用されるようになった。

GPSは米国防総省（空軍が主担当）により開発・運用されているシステムで、元々軍事用に開発されたが、民生分野においても利用に供されるようになった。GPSの開発が始まる前、米軍内では、世界で初めて実用化された衛星測位システムとして、1964年から海軍航行衛星システム（Navy Navigation Satellite System: NNSS）⁽¹⁰⁾が運用されており、また、別のシステムの開発計画⁽¹¹⁾も進行していた。1973年に米国防総省はこれらの計画を統合することを決定し、それにより開発されたのがGPSである。1978年から衛星の打上げが開始され、1993年12月に衛星がシステム上の必要数（24基）に達して初期運用段階になったことが宣言された。1991年1月～2月の湾岸戦争において、米軍を主力とする多国籍軍は、目印の少ない砂漠地帯における地上部隊の移動等のために当時構築中であったGPSを利用し、その有用性が示されたとされる⁽¹²⁾。

米国はGPSを民生分野における利用に供する可能性を開発当初から考慮していたが、1983年9月、ロナルド・レーガン（Ronald Reagan）大統領（当時）は、大韓航空機撃墜事件⁽¹³⁾を受けて、GPSの運用を開始した際に民間航空機による利用を認めるとする方針を決定した⁽¹⁴⁾。1993年12月に初期運用段階になり、それ以降、米国はGPSを民生分野における利用に供している⁽¹⁵⁾。ただし、当初、民生用の測位信号には、敵国等による利用を懸念した米国

(8) マグネトロンとは、マイクロ波の発生装置であり、磁電管とも言う。レーダー用の電波発振源や電子レンジなどに広く用いられている。ジョン・デインティス、エリザベス・マーティン編（山崎昶訳）『オックスフォード科学辞典』朝倉書店、2009、p.756。（原書名: John Daintith and Elizabeth Martin, eds., *A Dictionary of Science*, 5th ed., 2005.）

(9) 米国はこの研究開発のため、マサチューセッツ工科大学（MIT）内に放射線研究所（Radiation Laboratory）を設立し、終戦までの期間、研究者を集中的に動員してレーダーの基礎研究から開発までを行った。ここでの研究成果は戦後に大部な専門書（Radiation Laboratory Series）として刊行され、マイクロ波分野の参考書として活用されてきたとされる。Swords, *op.cit.* (6), pp.118-120; 伊藤信一『レーダシステムの基礎理論』コロナ社、2015、p.28.

(10) NNSSは1967年に民生分野に利用開放され船舶で広く用いられたが、常時の測位ができないなどの欠点もあった。

(11) NNSSとは異なる測位方式を用いるもので、海軍ではTimation、空軍では621Bと呼ばれる計画がそれぞれ進められていた。Bradford W. Parkinson et al., "A History of Satellite Navigation," *Navigation: Journal of the Institute of Navigation*, Vol.42 No.1, Spring 1995, pp.109-164.

(12) "Appendix B: GPS History, Chronology, and Budgets," Scott Pace et al., *The Global Positioning System: Assessing National Policies*, MR-614-OSTP, Santa Monica, CA: RAND Corporation, 1995, pp.245-246. <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monograph_reports/MR614/MR614.appb.pdf>

(13) 1983年9月、大韓航空の旅客機が航路を外れて誤ってソ連（当時）領空に進入し、サハリン上空でソ連空軍機に撃墜された。乗員・乗客全員（269名）が死亡した。

(14) 1983年9月の大統領副報道官の声明において発表された。"Statement by Deputy Press Secretary Speakes on the Soviet Attack on a Korean Civilian Airliner, September 16, 1983," *Public Papers of the Presidents of the United States: Ronald Reagan, Book II, July 2 to December 31, 1983*, Washington, D.C.: GPO, 1985, pp.1294-1295.

(15) GPSは、民生用の標準測位サービス（Standard Positioning Service: SPS）と軍事用の精密測位サービス（Precise Positioning Service: PPS）の2種類のサービスを提供している。SPSの信号の受信は初期運用段階になる前から可能であったが、飽くまでシステムは開発中（よって、サービスの中断等もあり得る。）という位置付けであった。

によって、「選択利用性 (Selective Availability: SA)」と呼ばれる測位精度を劣化させる措置が加えられていた⁽¹⁶⁾。米国の運用によって測位精度の変更等が行われることも懸念され⁽¹⁷⁾、SA の恒久的な解除を望む声があった。1995 年 7 月には、GPS は完全運用段階になったことが宣言された。その翌年 3 月、ビル・クリントン (William J. Clinton) 大統領 (当時) は、GPS に関する包括的な政策の中で、GPS を以後も継続的に世界に無償で提供するとともに SA を 10 年以内に解除する方針を発表し、2000 年 5 月に SA は解除された⁽¹⁸⁾。GPS はこうして民生分野においても航法や測量を始めとして幅広く利用されるようになり、スマートフォンにも GPS 受信機能が搭載されるなど人々の日常生活でも欠かせないものとなった。

(きゅうこ さとみ)

(16) SPS の測位精度は、SA によって PPS の 10 分の 1 程度 (単独測位で水平方向に約 100 メートルの誤差範囲) に抑えられていた。なお、SA による影響を回避して測位精度を向上させるシステム (ディファレンシャル GPS 等) も世界各国で普及した。“Chapter Three: National Security Assessment,” Pace et al., *op.cit.* (12), pp.86-87. <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monograph_reports/MR614/MR614.sec3.pdf>

(17) 実際に、湾岸戦争において、一時的に SA が解除されたことがあった。多国籍軍が、軍事用の GPS 受信機の調達に間に合わずに民生用の GPS 受信機を調達して使用したため、解除する必要があったとされる。U.S. Department of Defense, *Conduct of the Persian Gulf War: Final Report to Congress*, Washington, D.C.: GPO, 1992, pp.569-570.

(18) “Satellite Navigation - GPS - Presidential Policy.” Federal Aviation Administration Website <https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/techops/navservices/gnss/gps/policy/presidential/> 1 及び 3 を参照。