

19DDの防空システムについて

AIR DEFENSE SYSTEM OF JMSDF'S 19 DD (FY07 DD)

by Tomohiko Tada

多田 智彦

(防衛技術研究者)



海上自衛隊の次期汎用護衛艦19DDの完成予想CG。

SPY-1レーダーが実艦に装備されて間もなく四半世紀。今後建造される防空艦にとって多機能レーダーはもはや必要不可欠の存在であり、海上自衛隊の次期汎用護衛艦19DDの防空システムにも採用されることは間違いない。以下にその動向を追ってみよう。

着実に更新が進められている海上自衛隊の護衛艦は、21世紀に入って大きく飛躍しつつある。船体規模の増大もさることながら、世界の軍事情勢の動向に伴う運用要求の変化に対応して、センサーや武器など装備システムの能力向上により、戦闘力が強化されているのである。

近年の例では、艦隊防御艦とも呼ばれている広域防御艦（ミサイル護衛艦）として、第3世代の“はたかぜ”型2隻（56/58DDG）を能力的に大きく凌ぐ“こんごう”型4隻（63～05DDG）、いわゆるイージス護衛艦が20世紀末に登場したが、さらに弾道ミサイル防衛機能を備えると伝えられている“あたご”型2隻（14/15DDG）の建造が進行中である。

また戦術中核艦（ヘリコプター護衛艦）では、老朽化した“はるな”型2隻（43/45DDH）の更新艦として全通飛行甲板を備えて大型化し、高度なC4I機能と同時に強力な防空機能を保有する新型艦（16/18DDH）の1番艦建造が本年5月にもスタートする。

最新の話は“たかなみ”型5隻（10～13DD）の後継となる汎用護衛艦であり、1番艦が平成19年度艦（19DD）として構想されている。本艦は“たかなみ”型に続く世代の護衛艦とはいえ、従来の戦闘力の単なる延長ではなく、より高い能力が求められることになるだろう。

■ 19DD に要求される防空能力

まったくの仮定の話であるが、もし広域防御（艦隊防御、エリア・ディフェンス）を受け持つイージス護衛艦が弾道ミサイル防衛に注力している時、対艦ミサイル攻撃などを受けたと想定した場合、自艦の防御が手薄になることが考えられる。このため汎用護衛艦にもある程度の広域防御能力を持たせて対処する必要があるのではないだろうか。

もし19DDにこのような運用が期待されているとしたら、現時点では最新である“たかなみ”型の防空能力でも、当然不十分である。現在のDDに要求されている以上のネットワーク化を図り、統合運用に注力する必要があることはもちろんであるが、指揮管制およびウエボン・システム、つまり防空システムの能力向上が望まれるだろう。

“たかなみ”型DDの防空システムは、対空搜索レーダー OPS-24 により目標を搜索・探知し、戦闘指揮装置 CDS OYQ-9 および射撃指揮装置 FCS-2-31 によって垂



海上自衛隊の汎用護衛艦「たかなみ」型5隻のネームシップ。先頃最終艦「すずなみ」が竣工し、平成19年度からは新型に移行する予定である。
(安藤 哲雄)

直発射機 Mk41 から発射するシー・スパロー RIM-7M 短距離対空ミサイル（短 SAM）および 54 口径 127 ミリ単装速射砲を管制している。しかし前述のような運用を考えた場合、19DD にこのシステムをそのまま搭載したのでは多目標対処能力が低く、またリアクション・タイム（目標探知から武器発射までの時間）に問題があり、さらに広域防御用には現用短 SAM では能力的に不十分である。

この問題を解決するためには、19DD の防空システムは CDS 能力を拡大強化し、対空センサーとしては多目標対処が可能であり目標探索探知および追尾機能を併せ持つ多機能レーダーの運用を考えなければならないだろう。また SAM には、能力の向上した短距離型でも十分であろうが、さらに広域の防御が可能となる中距離型の運用も望ましい。

■多機能レーダーの世界的動向

多機能レーダーの有効性については今さらいうまでもないが、わが国でも“こんごう”型 DDG に搭載されているイージス・システムの SPY-1D レーダーで実証済みである。

世界で初めて水上戦闘艦用多機能レーダーの実用化に成功した米海軍は、SPY-1A レーダーを搭載した巡洋艦タイコンデロガ Ticonderoga CG-47 を 1983 年に就役させてから、イージス・システム搭載艦を次々と世に送り出してきた。

SPY-1 レーダーに象徴されるイージス・システムは、タイコンデロガ級巡洋艦 27 隻 (SPY-1A/B/B(V) を装備) のほか、現在も建造継続中で 60 隻超の就役が予定されているアーレイ・バーク Arleigh Burke 級駆逐艦（軽量型の SPY-1D/D(V) を搭載）に装備されている。

米海軍以外では、建造中も含めると、海上自衛隊の護

衛艦 6 隻 (SPY-1D/1D(V))、スペイン海軍のフリゲイト 4 隻 (SPY-1D)、韓国海軍の駆逐艦 3 隻 (SPY-1D) に採用され、それぞれ中距離 SAM (スタンダード・ミサイル SM-2) を管制する。またノルウェー海軍のフリゲイト 5 隻では、運用を中距離 SAM ではなく能力を向上した短 SAM (発展型シー・スパロー・ミサイル ESSM) に限定し、船体規模に対応するようアンテナ規模を縮小するなどしてレーダー能力が低下した SPY-1F を装備する。スペイン海軍は当初 SPY-1F の装備を予定していたが、レーダー能力不足ということで SPY-1D に変更されたと伝えられている。

SPY-1 レーダーが出現して以来、水上戦闘艦搭載防空システムとしての多機能レーダーの開発・装備が世界的に盛んになってきた。ここで整理の意味から多機能レーダーの各種方式やアンテナ構成を眺めてみよう。

多機能レーダーとして現在主流になっているのは、空間に放射される前のレーダー電波の位相をアンテナ面で制御して電波ビーム（ペンシル・ビーム）の方向を機械的ではなく電子的に変化させるフェーズド・アレイ方式である。さらにこの方式は、大出力送信電力を従来型の電子管を使用した送信機で発生し、導波管でアンテナまで導きアンテナ面に配列された多数の移相器（パッシブ素子）で位相変化させるパッシブ方式と、半導体で発生した小出力送信電力をケーブルでアンテナまで導き、アンテナ面に配列された多数の半導体増幅器および移相器（アクティブ素子）で増幅・位相変化させるアクティブ方式とに分かれる。

電子的に位相制御されて電波ビームの方向が変化するといっても、アンテナ中心線を含み角度で 90 ~ 120 度程度の円錐空間内であるから、自艦を中心にして全方位 360 度の半球空間をカバーするには、アンテナ 1 面を回転させるか、アンテナ 4 面ないし 3 面を固定装備し

なければならない。

半世紀近く前に開発開始された SPY-1 は、当時は半導体技術が未熟だったこともあり、送信機として電子管を使用したパッシブ方式を採用せざるをえなかった。また直径が3.7メートルで移相器を4,350個も配列し、背後に複雑な給電導波管系を配置しなければならない巨大なアンテナは、回転型ではなく4方向に向けて固定する構成となった。

一方ヨーロッパでも多機能レーダーの開発・装備が開始されている。オランダのシグナル社（現タレス・ネーデルランド社）が中心になって開発した APAR はアクティブ方式で、アンテナ4面を固定装備して全方位360度をカバーする。開発完了してオランダ海軍のフリゲイト、デ・ゼーヴェン・プロヴィンシエン De Zeven Provinciën 級（4隻、2002～05年就役）およびドイツ海軍のフリゲイト、ザクセン Sachsen 級（3隻、2004～05年就役）に搭載されている。

APAR の特徴は、多目標の搜索探知・追尾という本来の機能を行なうだけでなく、自艦が発射する SAM の誘導にも絶大な効果を発揮することである。イージス・システムでは、スタンダード・ミサイルのようなセミ・アクティブ型の SAM を誘導する場合、SAM の数は機械回転式アンテナによる連続波照射機（CW イルミネーター）の搭載数によって制限される。しかし APAR では、電子走査される連続波を使用する新開発の時分割による間欠連続波照射 ICWI（Interrupted CW Illumination）方式を採用したことで、イルミネーターに頼ることなく複数の SAM を同時に誘導することが可能となった（オランダ海軍およびドイツ海軍では、ESSM 短 SAM や

SM-2 SAM の ICWI 方式による複数誘導に成功している）。

イタリアで開発された EMPAR は、パッシブ方式でアンテナ1面回転型。フランス海軍が建造中の駆逐艦フォルバン Forbin 級（2隻、2006～08年就役）、イタリア海軍が建造中の駆逐艦アンドレア・ドリア Andrea Doria 級（2隻、2007～09年就役）および仏伊共同開発の多目的フリゲイト FREMM（イタリア：10隻/2010年以降就役、フランス：17隻/2009年以降就役）に搭載される。いずれもアスター15/30アクティブ・ホーミングSAMを管制することになっている。

イギリスでは、アクティブ方式のアンテナ2面を傾斜させ背中合わせに配置して球形のレドームで覆い、全体を回転させるサンブソンを開発した。この多機能レーダーは、現在建造が進められているデアリング Daring 級駆逐艦（6～8隻、2009年以降就役）に搭載され、アスター15/30アクティブ・ホーミングSAMを管制する。

このほかの多機能レーダーとしては、フランス海軍の原子力空母シャルル・ドゴール Charles de Gaulle（2001年就役）搭載のアラベル（パッシブ方式、アンテナ1面回転型）、フランスの協力でシンガポール海軍が整備中のフォーミダブル Formidable 級フリゲイト（6隻、2005～09年就役）が搭載するヘラクレス（パッシブ方式、アンテナ1面回転型）などがある。ヘラクレスは多目的フリゲイト FREMM にも搭載を予定している。また実用機は未完成であるが、オーストラリアでアクティブ方式アンテナ6面を固定配置する CEA-FAR が開発されている。

米タイコンデロガ Ticonderoga 級 イージス巡洋艦フィリピン・シー Philippine Sea CG-58。本級が装備するイージス・システムの文字どおり目玉として知られる SPY-1 レーダーは、実用的多機能レーダーの嚆矢ともいえる存在である。（U.S.NAVY）





海上自衛隊の試験艦「あすか」。
本艦でテストされたFCS-3は、ポ
イント・ディフェンスSAM用に開
発された多機能レーダーで、その
改型が16/18DDHに装備されるほ
か、19DDの防空システムの候補
にも挙げられている。(山本 弘敏)

■わが国の多機能レーダー開発

海外での多機能レーダーの開発・装備状況は以上のとおりであるが、わが国でも防衛庁技術研究本部で鋭意研究開発が進められている。

海上自衛隊では、エリア・ディフェンス用にはイージス・システムのSPY-1を採用しているため、短SAM管制を意図したポイント・ディフェンス用のFCS-3が国産の多機能レーダーである。研究開発の開始はヨーロッパ諸国より早く1980年代初期(昭和50年代半ば)であり、アメリカはもちろん、ヨーロッパでも開発されていないアクティブ方式で進められた。輸入に頼らざるをえない高価な大電力送信用電子管を複数使用するパッシブ方式に対して、アクティブ方式はわが国が得意な半導体で構成され、信頼性、整備性が抜群に優れており、レーダー・パラメーター(レーダー性能を決定する諸元)の設定が容易であって運用の多様性に柔軟に対応可能である、というのがアクティブ方式を選定した大きな理由であったようだ。また半導体技術の進歩による大出力化が可能で、探知距離の延伸など将来の発展性にも優れているということも大きな要因であったという。

開発を進めるに当たってはさまざまな問題に直面したが、その一つがレーダーで使用する電波周波数の選定であった。艦船搭載レーダーの電波周波数は、超遠距離目標を対象にする場合は別として、一般的には1～12ギガヘルツが使用される。この範囲は大体に、

- Lバンド(1～2ギガヘルツ)
- Sバンド(2～4ギガヘルツ)
- Cバンド(4～8ギガヘルツ)
- Xバンド(8～12ギガヘルツ)

と区分されており、電波伝播特性などから目標捜索用にはどちらかという低い周波数、距離分解能を必要とす

る目標追尾用には高い周波数が選定される。したがって対空捜索レーダーではLバンド、また射撃指揮レーダー(目標追尾レーダー)ではXバンドを採用している機種が多い。

捜索探知機能と追尾機能を兼ね備える多機能レーダーにとって、この電波周波数選定は極めて重要なポイントとなる。

周波数に関連する多機能レーダー性能としては、捜索探知追尾性能、クラッター(シークラッターおよびウェザー・クラッター)抑圧性能、対マルチパス(海面多重伝播経路)干渉性能、対電波妨害性能などが挙げられる。特に多機能レーダーでは目標捜索探知追尾のためにペンシル・ビームで所定の空間を走査することから、走査時間(ペンシル・ビームで所定空間を埋め尽くす時間)にはビーム幅が大きく影響する。ビーム幅は周波数およびアンテナ径と大きな関係がある。また搭載艦の規模(アンテナ装備場所)により制約されるアンテナ径は、レーダー距離に影響する。

そのほか複雑なレーダー特性上の条件を考慮すると、前記の区分のうちからS、CおよびXバンドあたりが候補になるであろうということが容易に想像される。

国産開発に着手したFCS-3では、これらの候補をもとに定量的な技術検討を行なった結果、ポイント・ディフェンス用の多機能レーダー周波数としてはCバンドが最適であるとの結論に達したと伝えられている。

以上の検討結果に基づき、昭和61年度(1986年度)からCバンド・アクティブ方式の基礎的な機能性能を確認するための研究試作が開始され、続いて開発試作が進められた。開発試作機は陸上試験後に試験艦「あすか」に搭載されて平成7～10年度(1995～98年度)に技術試験および実用試験が実施され、各試験項目で世界水準を超える性能が確認されている。特に小型高速で超低

空を飛翔する対艦ミサイルを想定した低高度目標探知追尾試験では、予想を上回る好成績を取めたという。また FCS-3 は、平成 12 年度 (2000 年度) に 00 式射撃指揮装置として制式化されている。

驚異的な機性能を発揮して海上自衛隊の運用要求を満点の成績でクリアした FCS-3 は、平成 10 年度艦“たかなみ”からの搭載が期待されたが、諸般の事情から見送られ、平成 16 年度艦 (16DDH) への搭載が実現することになった。

16DDH (続いて 18DDH) に搭載される FCS-3 の実用機は FCS-3 改と呼称されるようだ。FCS-3 改では多目標搜索探知追尾を行ない、SAM として新たに採用されることになった ESSM の管制 (中間コマンドおよび終末セミアクティブ誘導) には、前述の APAR で開発され、SAM 発射管制に実績を有する X バンド ICWI 技術が使用される。このため C バンド・アンテナと同一面にフェーズド・アレイ方式の X バンド・アンテナが別個に設けられ、機械回転部分なしで SAM 誘導電波を放射する。これによって複数の SAM の管制が可能になるばかりでなく、艦のステルス性向上にも寄与する。

■ 19DD の防空システム

海上自衛隊最新の DD は“たかなみ”型だが、19 年

度艦 (19DD) から新型となる。その防空システムであるが、歴史的には初の本格的な汎用護衛艦として登場した“はつゆき” (52DD) 以来、先人が開発・蓄積し順次受け継がれてきたポイント・ディフェンスの運用思想を尊重すべきであろう。

つまり、国産開発された OYQ-5 (52DD) に始まり、運用の変化に柔軟に対応して次々と改良されて OYQ-9 (10~13DD)、OYQ-10 (16/18DDH) と発展してきた CDS に、ある程度のエリア・ディフェンス運用を考慮した OYQ-X が中心となるのが望ましい。

SAM については、能力の向上した ESSM のほかに中距離用を考慮に入れるのであれば SM-2 以外の選択はないと思われるが、問題は SAM を管制する多機能レーダーである。

候補としては、ESSM 管制用として 16/18DDH に搭載される FCS-3 改を広域防御可能なように能力向上した FCS-3 改 1 (仮称) および ICWI 技術の利用が適当であろう。レーダー距離延伸など能力向上は、アクティブ方式の利点を活かして送受信モジュール内の半導体増幅器の出力増大だけで可能となる。FCS-3 改用送受信モジュール内の増幅器に使用されているのはガリウム砒素 (GaAs) 系半導体であるが、この高出力化を図るほか、近年開発が進められている炭化シリコン (SiC) 系や窒

日本航空機総集

野沢 正 / 編著 日本航空宇宙工業会監修 A5 判・特上製本・函入 送料各 340 円

<第2巻> 愛知編 <改訂新版> 愛知航空機の九九式艦上爆撃機、流星、各種水上偵察機、海軍航空技術廠の彗星、銀河、桜花など計 81 機種を、タイプ別に三面図を添えて解説。 **定価 2700 円 + 税**
216 頁・口絵 77 葉

<第3巻> 川西編 <改訂新版> 川西航空機製の水上旅客輸送機、九七式飛行艇、二式飛行艇、局地戦闘機紫電、紫電改、および広海軍工廠製の各種飛行機など合計 59 機種を解説。 **定価 2700 円 + 税**
204 頁・口絵 77 葉

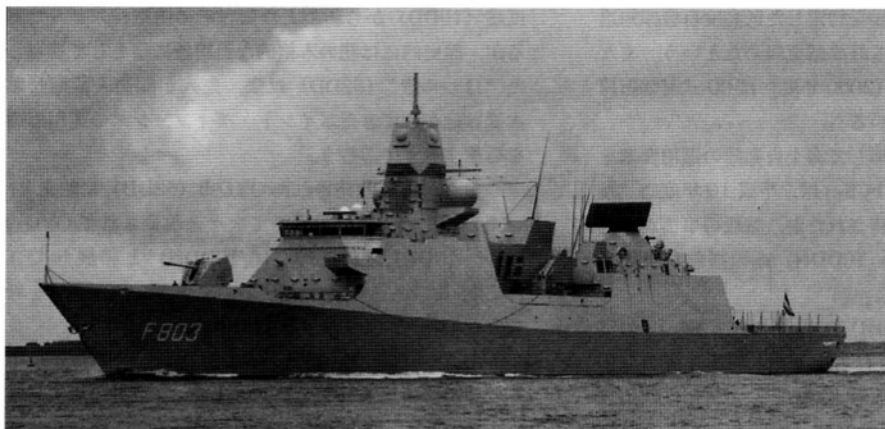
<第4巻> 川崎編 <改訂新版> 三式戦飛燕、五式戦、二式復座戦闘機屠龍ほか偵察機、通信機、輸送機など、試作を含め主に陸軍機を製造した川崎航空機製計 37 機種を収録。三面図付。 **定価 2700 円 + 税**
204 頁・口絵 96 葉

<第5巻> 中島編 <改訂新版> 隼、鍾馗、疾風などの陸軍機、九七式艦攻、天山、銀河、さらには 4 発の陸上攻撃機連山、超重爆富嶽などの海軍機に民間機を加えた合計 81 機種を解説。 **定価 2900 円 + 税**
272 頁・口絵 111 葉



出版協同社

東京都新宿区新小川町 1-14 NAO ビル
〒162-0814 Tel.03-3268-6351/Fax.03-3268-6354
振替 00130-8-26555



オランダのミサイル・フリゲイト、デ・ゼーヴェン・プロヴィンシエン De Zeven Provinciën。前部マスト上部にAPAR多機能レーダーを装備している。(H. CARSTENS)

化ガリウム (GaN) 系半導体の採用によって大出力化が容易に実現できる。

一方 SM-2 の管制は、イージス・システムで適合性や実績のある SPY-1 シリーズが望ましいとの声も聞かれる。その場合、7,000 トン級のミサイル護衛艦“こんごう”型や“あたご”型搭載の SPY-1D/D(V) では重量、寸法、価格などの点で 19DD のような 4,000 トン級汎用護衛艦搭載に相当ではないため、ノルウェー海軍がフリゲイト用 (4,000 トン級) に採用した規模縮小型の SPY-1F が候補となるだろう。

しかしレーダー周波数として S バンドを採用している SPY-1 シリーズは、弾道ミサイルなどの高高度遠距離目標探知には有効であろうが、イージス・システム出現後に主流となった超低空対艦ミサイルなど低高度目標対処性能には問題がある。

タイコンデロガが就役して以来、シークラッターやマルチパス干渉の影響で、低高度目標の探知に問題が多いと非公式に報告されている。その対策としてレーダー受信信号処理でシークラッターを抑圧する努力もなされたという。しかし SPY-1 レーダーの S バンド電波によるマルチパス干渉という自然現象には如何とも対応しがたく、米海軍は近年になって天下無敵であるはずのイージス巡洋艦や駆逐艦に低高度目標対処用として、わざわざ海面状況の影響を受けにくい X バンドを使用したアンテナ回転型レーダー SPQ-9B を追加装備しつつある。

また SPY-1 シリーズの小型版である SPY-1F は、現時点で SM-2 はもちろん、ESSM の発射管制実績はない。これらの SAM を管制する場合は、従来型の機械回転式 X バンド・イルミネーターを使用することになるだろうが、これでは装備するイルミネーターの基数で制限される多目標対処性や船体ストレス性の面でシステム性能が大幅に後退することになる (ノルウェー海軍のフリゲイトは機械回転式イルミネーターを 2 基搭載し、ESSM のみ管制)。

このほか SPY-1F は、低高度目標対処以外のレーダー性能の点でも FCS-3 改 1 と比較してはるかに及ばない。たとえば FCS-3 改 1 は 4 面アンテナで各々独立に電波ビームを放射して 4 方向を同時に走査可能であるが、SPY-1F では送信機からの出力を時間的に切り替えてアンテナ 4 面のうちの 1 面に給電しているの、ある時点で電波放射できるのは 4 方向のうちの 1 方向のみ、つまりレーダー・エネルギーを目標探索探知に振り向ける時間が少ない。また SPY-1 シリーズの小型版とはいえ、SPY-1F のアンテナ径は 2.4 メートルもあり、わずかに 1.5 メートル (推定) の FCS-3 改 1 との高所装備部分重量を比較してもトップヘビーは明らかである。

さらに重要なシステムの信頼性や補給・整備性、将来の発展性に着目した場合、半導体アクティブ方式の FCS-3 改 1 は、今の時代では明らかに旧式といえる電子管を使用したパッシブ方式の SPY-1F に比較して圧倒的に優れていることは論を待たない。

* * *

SPY-1 シリーズは艦載多機能レーダーとして一時代を築き、また開発が進められている海上配備弾道ミサイル防衛で力を発揮するであろうことも間違いなだろう。SPY-1F の弱点を改善した SPY-1F (V) の開発も伝えられる。しかし時は巡り技術革新が進んでおり、熟成されているといえれば聞こえはいいが、半世紀近く前の技術に基づいた重厚長大なシステムである SPY-1 を導入するのは技術の逆行ともいえ、わが新鋭護衛艦 (19DD) への搭載候補とするのはいかがなものであろうか。

SPY-1 シリーズの限界に気付いている米海軍は、次期駆逐艦 DD(X) 搭載用として、半導体アクティブ方式の広域搜索レーダー VSR (S バンド) および VSR の低高度目標対処性能を補う多機能レーダー MFR (X バンド) を開発している。わが国の新しい革袋 (19DD) にも、新しい酒 (FCS-3 改 1) を盛るのが合理的で常識的な判断ではないだろうか。