

防衛装備庁 技術シンポジウム 2018

発表要旨

開催日:平成30年11月13日(火)・14日(水)

場 所:ホテルグランドヒル市ヶ谷 東館

目 次

オーラルセッション

1 新空対艦誘導弾（XASM-3）の研究開発成果	・・・ 2
2 CFRP ロケットモータ高性能化の研究と今後の展望	・・・ 3
3 航空装備研究所における戦闘機の胴体関連技術	・・・ 4
4 戦闘機用エンジン(XF9)の研究進捗状況について	・・・ 5
5 人員防護解析技術の研究	・・・ 6
6 SPR 分析器と無人器材を利用した高感度爆薬採取・分析システム	・・・ 7
7 水陸環境における車両用シミュレータの研究試作	・・・ 8
8 艦艇装備研究所における水中無人機への取り組みと岩国海洋環境 試験評価サテライト（仮称）の整備について	・・・ 9
9 高出力レーザ技術の研究	・・・ 10
10 多目的自律走行ロボットの研究	・・・ 11

ポスターセッション

1 Mixed Reality コックピット実現に向けたワークロード推定に関する研究	・・・ 12
2 ローテティング・デトネーションエンジンの研究	・・・ 13
3 光波ドームを使用した対空誘導弾の研究について	・・・ 14
4 低RCS対処ミサイル誘導制御技術の研究	・・・ 15
5 艦艇の基本設計—新艦艇30FFM—	・・・ 16
6 NDS防振ゴムによる耐衝撃ぎ装の検討	・・・ 17
7 圧縮センシングを用いたパッシブソーナ信号処理技術の研究	・・・ 18
8 先進対艦・対地弾頭技術の研究	・・・ 19
9 ハイブリッド動力システムの研究	・・・ 20
10 IED 走行間探知技術の研究試作	・・・ 21
11 将来軽量橋梁技術の研究	・・・ 22
12 衝突・爆発に耐える構造システム	・・・ 23
13 大規模災害時における社会レジリエンスの評価法	・・・ 24
15 次世代データリンク高速・高信頼化技術の研究	・・・ 25
16 サイバー攻撃対処技術に関する研究	・・・ 26
17 無人機等による警戒監視の自動化のための機械学習の応用	・・・ 27
18 哨戒機のためのレーザ海面波高潮流計測技術	・・・ 28
19 プラズマステルスアンテナ技術の研究	・・・ 29
20 広域津波漂流物シミュレーションによる漂流物衝突力の推定	・・・ 30
22 化学剤及び生物剤の汚染状況を把握する将来的な手段としての光コム分光	・・・ 31
23 高機動パワードスーツの研究	・・・ 32
24 過酷環境下における身体的、認知的負担の計測・評価技術の研究	・・・ 33

新空対艦誘導弾(XASM-3)の研究開発成果

○石井崇*

1. 開発目的

新空対艦誘導弾(XASM-3)は、80式空対艦誘導弾(ASM-1)及び93式空対艦誘導弾(ASM-2)の後継として、F-2に装備し、高性能な対空火器が搭載されている敵戦闘艦艇に対して、より効果的な対処を可能とすることを期待され開発された。

2. 運用構想及びASM-3の概要

ASM-3は、搭載母機であるF-2が敵のSAM(対空ミサイル)射程もしくはレーダー覆域外から射撃し母機のスタンドオフ性を確保しつつ、遠距離(長射程)であれば高空巡航、近距離(短射程)であれば低空巡航し、目標をシーカでロックオンし、命中、目標艦艇を無力化するとともに、超音速飛しょうにより、ミサイルの被撃墜率を低下させる。また、敵の電波を識別できる機能を有し、脅威度の高い艦艇を選択して攻撃可能なシステムを有している。(図1)

図2にASM-3の概要を示す。固体ロケットモータとラムジェットエンジンを組み合わせたIRR(インテグラル・ロケット・ラムジェットエンジン)を推進装置として搭載し、ラムジェット推進による超音速巡航を実現している。誘導制御装置はアクティブ電波とパッシブ電波の複合誘導方式となっており、高い耐妨害性を有する。弾頭・信管は高速で目標の外壁に命中する際の衝撃に耐え、艦内部で起爆する機能を有するものとなっている。

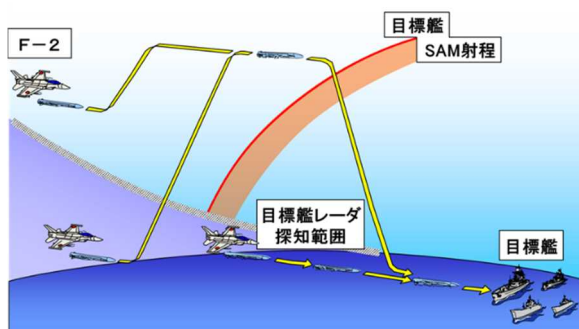


図1 運用構想図

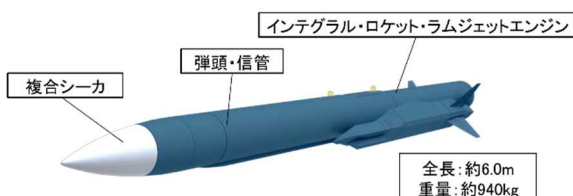


図2 ASM-3の概要

3. 性能確認試験の概要

本開発は、平成22年度から平成28年度まで開発試作、平成25年度から平成29年度まで技術試験、平成29年度に実用試験を実施した。技術試験では、試作したASM-3の性能が設計に適合するか否かについて評価するため、構成品等の細部からシステム全体まで段階的に確認した。

IRR関連として、固体ロケットの推力を確認するための燃焼試験、作動時間全てにおける安定作動を確認するための全フェーズ試験等を実施した。

複合シーカ関連として、誘導性能、目標識別、耐妨害性等の機能・性能を確認するために野外試験、ECCM(Electric Counter Counter Measure)試験、キャプティブフライト試験等を実施した。

弾頭・信管関連として、鋼板を用いた貫徹試験、箱的や艦型標的(旧「いそゆき」)を用いた静爆試験等を実施し、貫徹性能及び破壊力の確認を実施した。

飛しょう体関連として、搭載するF-2への影響を確認する母機適合性試験や投下・投棄試験等を行い、総合的な確認として、退役した護衛艦「しらね」を改修した艦型標的(図3)に対してF-2から発射を行った。本試験により、実飛しょう環境下において一連のシーケンスが正常に機能することを確認した。発射試験の様子を図4に示す。

本発表では発射を中心に試験概要を紹介する。

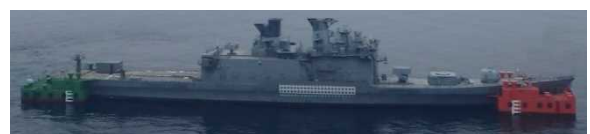


図3 艦型標的(旧「しらね」)



図4 発射試験の様子(若狭湾北方臨時射場)

*長官官房装備開発官(統合装備担当)付 第4開発室

CFRP ロケットモータの高性能化の研究と今後の展望

○佐藤寛^{*1}、橋野世紀^{*1}、中山久広^{*1}、海老根巧^{*1}

1. 緒論

CFRP ロケットモータは、従来の金属モータケースのロケットモータと比較してモータケースを軽量化でき、マスレシオ(ロケットモータ重量に占める推進薬重量の割合)向上に有効である一方、推進薬充填率の向上には現状限界がある。加えて CFRP モータケースの接合は困難であることから、間欠作動させることも容易ではない。本研究では、更なる性能向上を目指し、ロケットモータの製造方法を従来の「モータケースを製造した後、推進薬を注型しモータケース内で推進薬を加熱硬化する」という方式から、「断熱材を施工した複数の推進薬セグメントを製造した後、推進薬セグメントを接合したマルチセグメントを製造し、マルチセグメントの上に直接樹脂を含浸させた炭素繊維を巻きつけて樹脂を硬化(直巻 FW(Filament Winding)技術)する」というロケットモータの製造方法の根本的な変更を行った。これにより、図 1 に示すような燃焼特性の異なる複数推進薬を有した直巻マルチセグメント・ロケットモータが製造可能になり、従来ロケットモータで推力調整のために施工されていた光芒と呼ばれる溝の施工が不要となる。加えて、推進薬に負荷される応力が緩和されるため、推進薬セグメントの内孔径を縮小することが可能となり、マスレシオを大幅に向上することができる。また、推進薬セグメントの施工も容易であることから、間欠作動や3段推力などのマルチスラストの実現も簡便となり、大幅な性能向上が期待される。

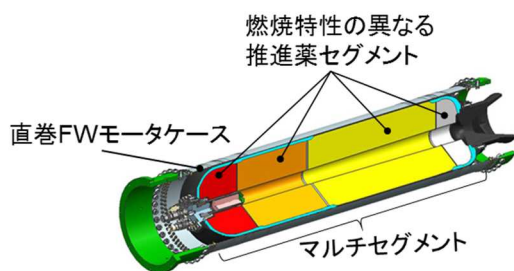


図1 直巻マルチセグメント・ロケットモータの概要

2. 試験の方法

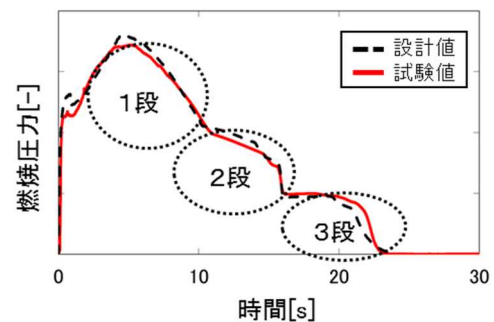
直巻マルチセグメント・ロケットモータの実現性を確認するために、実飛しよう時に想定される荷重条件において、直巻 FW モータケースの強度・剛性試験を実施した。加えて、3段推力及び間

欠作動を実現する直巻マルチセグメント・ロケットモータを製造し、静置燃焼試験を実施し、推力パターンを確認した。

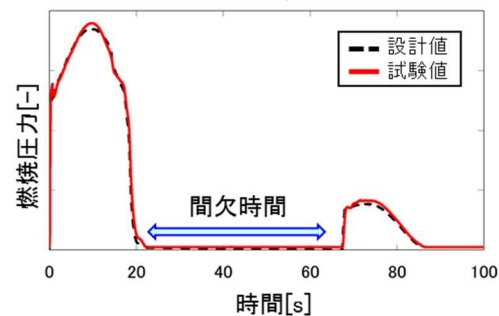
3. 結果及び考察

強度・剛性試験の結果、直巻 FW モータケースの強度・剛性が飛しよう時の荷重に耐荷可能であることを確認した。また、静置燃焼試験により、従来ロケットモータでは実現困難な3段推力及び間欠作動を図 2(a)(b)に示すように実現した。

直巻マルチセグメント・ロケットモータの実現性が確認されたため、ある地対空誘導弾クラスの誘導弾を想定し、従来ロケットモータ(金属ケース)と直巻マルチセグメント・ロケットモータを適用した際の弾道飛しようを比較する飛しよう解析を行った。飛しよう解析の結果、約 60%の射程延伸及び到達速度の 50%向上を確認した。



(a) 3段推力



(b) 間欠作動

図2 静置燃焼試験結果

4. 結論

直巻マルチセグメント・ロケットモータ技術によって誘導弾の飛しよう性能を大幅に向上できる見込みが得られた。今後は直巻 FW モータケースの耐熱性を向上し、CFRP ロケットモータの更なる性能向上を実現する予定である。

航空装備研究所における戦闘機の胴体関連技術

○川井翼*1、饗庭昌行*1、林利光*2

1. 背景及び目的

航空装備研究所においては、戦闘機関連技術の蓄積・高度化を図るための様々な研究を実施している。

本発表では、戦闘機の胴体構造に関連する重要な技術である軽量化機体構造及び誘導弾内装ベイ・システムの研究について、直近の進捗状況を含めて紹介する。

2. 軽量化機体構造の研究

将来の戦闘機は誘導弾内装ベイを設けるため、胴体容積増加等による重量増加傾向がある。軽量化機体構造の研究は次の3つの技術により、機体の軽量化を実現するものであり、段階的にこれらの技術の成立性を検証している。

(1) 一体化・ファスナレス構造技術

複合材製部品を接着成形によって結合し、複合材の適用部位の拡大と金属製ボルト(ファスナ)の更なる削減を図ることで構造重量の低減を目指すものである。

(2) ヒートシールド技術

軽量かつ熱遮蔽性能に優れた部材をエンジン周辺に配置することで、エンジン周辺の構造部材を従来の重い耐熱合金から、軽量の複合材やアルミ合金等に変更し、機体構造の軽量化を図るものである。

(3) 高効率・高精度構造解析技術

FEM(Finite Element Method)モデルの作成を短期間で実施するために自動でCAD(Computer-Aided Design)モデルから詳細FEMモデルへ自動変換するツールを作成するとともに、設計者の技量によらず適切な解を得るためにモデル作成ルール及び破壊判定ルールを定めた次世代航空機構造解析基準を作成した。これにより軽量化に伴う強度不足のリスクを局限する考えである。

直近の進捗としては、上記の技術を適用した部分構造供試体(図1)の試作を平成29年度に完了した。部分構造供試体は、戦闘機の中中部胴体、後部胴体及び主翼の一部を模擬した実大の供試体であり、強度試験により、構造強度と解析精度の確認を実施中である。

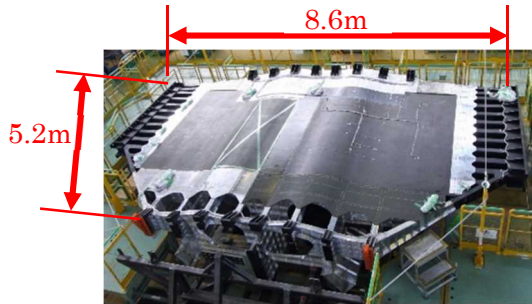


図1 部分構造供試体

3. 誘導弾内装ベイ・システムの研究

戦闘機の胴体内部に誘導弾を格納するためのベイ・システムに関する研究として、ウェポンリリース・ステルス化の研究を行っている。誘導弾を胴体内のベイに格納することにより、抵抗が減少しより高速で飛行できること、レーダ波の反射を抑制しステルス性を向上できることの2つの利点がある。

本研究ではこれまでに、高速気流中での誘導弾の分離特性を取得するための風洞試験と、試作したランチャー部分を用いたダミーストアの射出試験を実施しており、誘導弾を安全に分離できる見通しを得ている。

直近の進捗としては、誘導弾を機外に射出するためのランチャー機構及びベイ扉の開閉機構を含む実大のシステム(図2)の試作を平成29年度に完了した。現在は、これらの機能及び性能の確認試験の準備を行っている。なお、この供試体を取り付ける試験架構には、飛行中にベイ扉を開閉する際に発生する大きな荷重を模擬するための負荷機構を具備している。

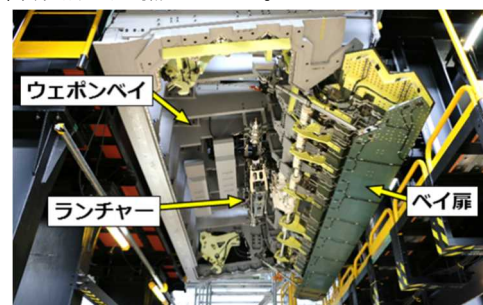


図2 実大の誘導弾内装システム

4. まとめ

航空装備研究所における戦闘機の胴体関連技術の研究について、直近の進捗状況を含めて紹介した。引き続き、各研究で所定の成果を得られるよう努めていく。

*1航空装備研究所航空機技術研究部航空機システム研究室 *2同機体構造・材料研究室

戦闘機用エンジン(XF9)の研究進捗状況について

○枝廣美佳^{*1}、山根喜三郎^{*1}、平野篤^{*1}、及部朋紀^{*1}

1. 背景及び目的

将来の戦闘機に、ステルス性、高速性能及び高運動性を付与するには、機体の抵抗低減のみならず大推力とスリムな形状を両立させた戦闘機用エンジンの搭載が不可欠である。

本研究は、大推力とスリムを両立させた推力15トン級の戦闘機用エンジンシステム(プロトタイプエンジン)の試作を行い、地上での性能実証を行うものである。

2. 研究の進捗

防衛装備庁航空装備研究所では将来戦闘機用エンジンの実現に向けた研究を平成22年度より行っている。これまでに「次世代エンジン主要構成要素の研究」、「戦闘機用エンジン要素に関する研究」で、エンジンの各種構成要素と、エンジンの核となる高温高圧部構成要素を組み合わせたコアエンジンについて、最新技術を適用した高性能化に取り組んだ。これらの成果を踏まえ、「戦闘機用エンジンシステムに関する研究」では、高性能な構成要素を最適に組み合わせシステムインテグレーションした、推力15トン級のプロトタイプエンジン(以下「XF9」という。)を試作し、平成30年6月末に完成した(図1)。また、将来戦闘機に推力偏向ノズル搭載の選択肢を確保するために、「推力偏向ノズルに関する研究」も現在実施しているところである。

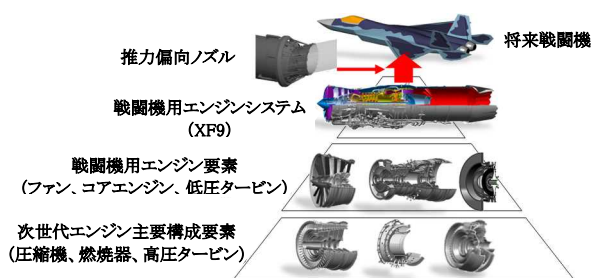


図1 戦闘機用エンジン研究の流れ

XF9の断面図を図2に示す。XF9は、アフターバーナ(以下「AB」という。)付きの低バイパス比ターボファンエンジンであり、当研究所において研究を行ったXF5(推力5トン級)から、大推力化とともに、最新技術の適用により大幅な性能向上

を図ったものである。外部から空気を取り込むエンジン入口はファン3段、圧縮機6段で構成され、ファンの単位面積当たりの流量向上と高圧力比化を図ることで、スリムな形状での大推力エンジンを可能にした。圧縮機は、動翼全段にディスクとブレードを一体構造とするブリスク構造を適用するとともに、軸長を短縮することで軽量化を図った。燃焼機は新たな燃焼方式である広角スワラ燃焼方式を採用し、加えて二重壁複合冷却構造による効率的な冷却方式を適用することで、燃焼機出口温度約1800℃という世界トップレベルの燃焼温度を可能にした。また、将来戦闘機においては、従来機よりも電力需要が一層高まることを想定し、小型軽量化を図りつつも大容量の発電が可能となるよう、新しくスタータ・ジェネレータを搭載した。

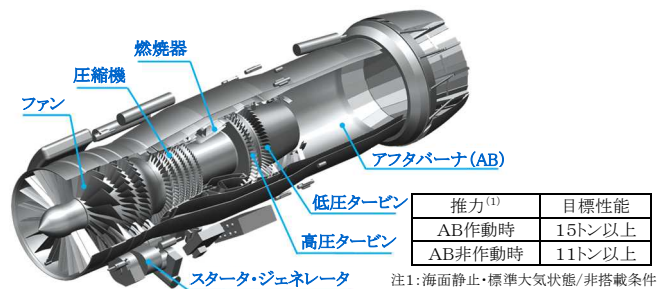


図2 XF9 断面図

平成30年7月より株式会社IHI 瑞穂工場にてXF9の性能確認試験を実施しており(図3)、現時点でAB非作動時推力:11トン以上、AB作動時推力:15トン以上の性能実証に成功した。平成31年度末にかけて、エンジンの各種性能を取得する試験を実施する計画である。



図3 XF9の運転状況

^{*1}航空装備研究所エンジン技術研究部 エンジンシステム研究室

人員防護解析技術の研究

○阪本 雅行*、石野 貴之*、塚田 佑貴*、藤井 圭介*

1. 背景及び目的

防弾チョッキが銃弾等を阻止した際に人体に加わる衝撃により、耐弾時鈍的外傷(BABT: Behind Armor Blunt Trauma)と呼ばれる怪我が発生する場合がある。BABTを予防することが可能な防弾チョッキを設計するには、その発生メカニズムを考慮した適切な試験評価手法が必要である。

本研究は、新たな試験評価手法を導入し、BABTの予防に繋がる防弾チョッキの設計技術を確立することを目的としている。

2. 試験評価手法

先行研究を通じて、被弾時に人体に加わる衝撃は、図1に示すように、応力波伝播及び衝突面変形からなることがわかっている。そこで、本研究では、図2に示すように、人体組織の物性値を模擬した透明なシリコーンを用いて応力波伝播及び衝突面変形を計測・評価する手法(①応力評価法)と人体胸郭の特性を模擬した皮膜を用いて衝突面変形を連続的に計測・評価する手法(②変形時間履歴評価法)を組み合わせることで射撃試験を実施することにより、応力波伝播及び衝突面変形の双方から、防弾チョッキに装着した緩衝材によるBABTの予防効果について検証した。

3. 試験結果及び考察

①応力評価法を用いて防弾チョッキを模擬したFRP板の射撃試験を実施した結果、緩衝材を装着することにより、応力波伝播を阻止できるとともに、明瞭な衝突面変形の発生も防止できることが確認できた。次に、②変形時間履歴評価法を用いて、同様の射撃試験を実施し、計測した人体胸郭模擬皮膜の変形時間履歴を受傷評価曲線にあてはめてBABTの発生確率を評価した。その結果、緩衝材を装着することにより、BABTの発生確率を10%未満に下げられる見通しが得られた。

4. 結論及び今後の方向性

本研究を通じて、①応力評価法及び②変形時間履歴評価法を組み合わせることで射撃試験を実施することにより、BABTの予防効果を評価できること

が確認できた。また、防弾チョッキに緩衝材を装着することにより、応力波伝播及び衝突面変形を防止できることを確認し、BABTの予防に繋がる防弾チョッキの設計について見通しを得た。

今後、この試験評価手法を用いて各種緩衝材を評価・設計するとともに、数値解析を併用してその最適化を図り、防弾チョッキ等の性能向上に反映する予定である。

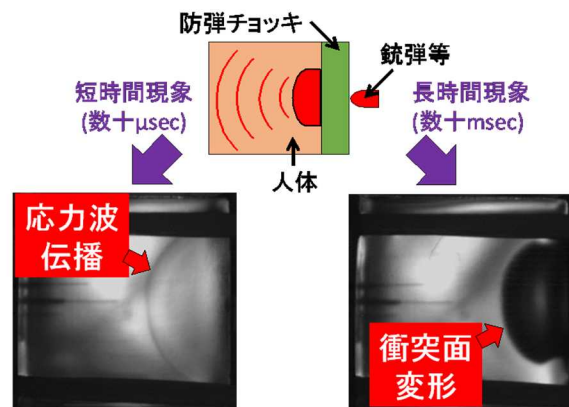
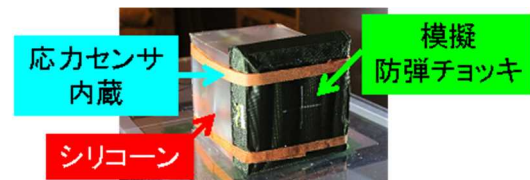


図1 被弾時に人体に加わる衝撃



①応力評価法



②変形時間履歴評価法

図2 新たな試験評価手法

*陸上装備研究所弾道技術研究部 火力・防護力評価研究室

SPR 分析器と無人器材を利用した高感度爆薬採取・分析システム

○来山直弘^{*1}、後藤和久^{*2}、鈴木洋史^{*3}、成瀬正啓^{*4}、國方貴光^{*1}

1. 背景

近年世界各地において IED (Improvised Explosive Device (即製爆発装置)) の脅威が増大している。爆発物等による車両被害や人的損傷を防ぐためには、それらを離隔した位置から認識する必要があるが、IED は偽装敷設される場合があり、その場合、外見だけで IED と断定するのは難しい。一方で、IED 表面には製造者の手を介してごく微量の爆薬成分が付着する場合が多いため、この爆薬成分を高感度に検出できる分析系の構築が待たれている。

2. 研究の概要

陸上装備研究所では IED 表面に付着した微量爆薬を遠隔操縦による爆薬採取が可能な無人器材 (以下単に無人器材という) により採取し、抗原抗体反応と SPR (Surface Plasmon Resonance (表面プラズモン共鳴)) による高精度な分析が可能なシステムを目指した研究に取り組んでいる。(図1)

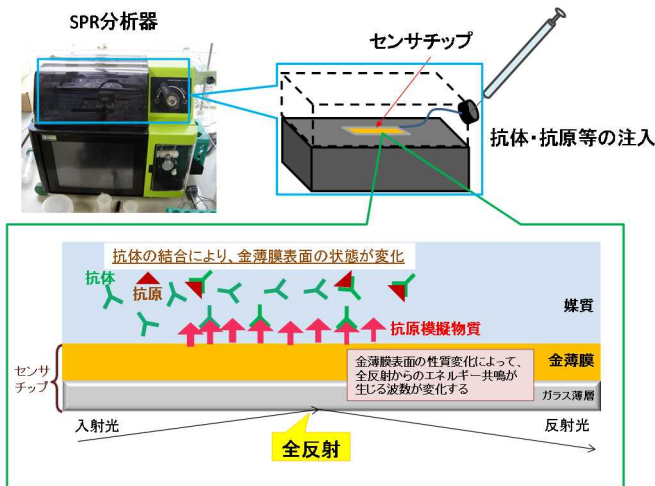


図1 SPR 分析器と分析原理の概要

平成25年度から研究を実施し、SPR 分析器を用いた爆薬の分析手法と無人器材の爆薬採取方

法の実証を行った。なお、この研究は、爆薬検知技術については九州大学と、分析評価技術については帝京平成大学とそれぞれ共同研究を行ったものである。

図2に示す無人器材は、平坦地走行に有利なタイヤと不整地を走破可能なクローラを備えており、路面状態に合わせて、効率的な移動が可能である。無人器材の制御は無線で行うことができ、50m以上離れた所から操作可能である。搭載されているカメラは遠隔操作及び周辺の情報の確認に用いる。爆薬採取は拭き取りと吸い込みの2手法が可能であり、対象物をカメラ上で選択することで、自律採取する機能も備えている。

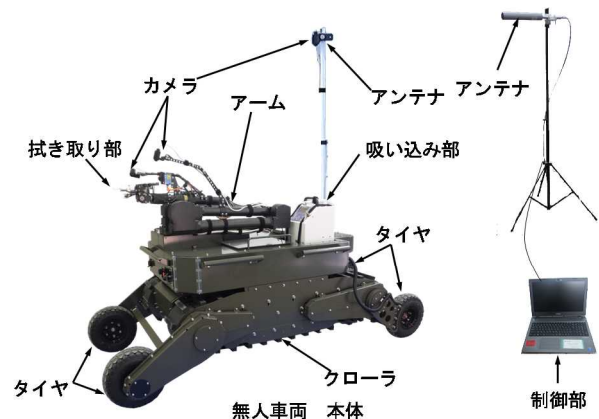


図2 無人器材

これまでの基礎的な研究を踏まえ、実現性を模倣した条件で試験を行った。

試験の流れとしては、希薄な爆薬を塗布した模倣 IED を野外に設置し、無人器材を使用することでサンプルの採取を行い、得られた試料について爆発物の検出を SPR 分析器で行った。

3. 結果

本研究の結果、遠隔操作により離隔した安全な位置から模倣 IED の表面試料を採取し、高感度の分析をするという一連の運用の模倣に成功し、本システムの有用性を確認できた。

*1 陸上装備研究所システム研究部 無人車両・施設器材システム研究室

*2 防衛装備庁長官官房総務官付 情報システム管理室

*3 陸上装備研究所機動技術研究部 障害構成・啓開研究室

*4 防衛装備庁技術戦略部技術計画官付

水陸環境における車両用シミュレータの研究試作

○竹田 陽一^{*1}、上村 圭右^{*1}、平 秀隆^{*1}、金子 学^{*1}、柳田 勝志^{*2}

1. 背景及び目的

陸上自衛隊における水陸両用車の導入により、従来の陸上域に加え、水際域及び水上域を含む水陸環境における車両の機動性能等の評価が重要となっている。

そこで本研究試作は、陸上装備研究所が有している陸上域での車両のシミュレーション技術に加え、水際域・水上域における車両の性能予測、分析及び評価が可能な「車両用多種環境シミュレータ」を試作し、将来車両の構想検討及び既存車両の改良・改善検討が可能なシミュレーション試験評価技術確立することを目的としている。

2. 研究試作の概要

本シミュレータは、詳細な車両運動等の解析を行う非実時間シミュレーション機能、及び操縦者が模擬視界を見ながら車両操作を行い、操縦性等を評価する実時間シミュレーション機能を有している。

本シミュレータは図1に示すように、

(1) 運用状況模擬装置

車両(水陸両用車、戦車等)、地形・環境(路面、波浪等)及び走行・航行条件を組み合わせたシナリオの作成と結果データの評価を行う装置

(2) 操縦模擬装置

操縦性等の評価及び操縦者を含む車両の総合的な機動性能評価を可能とする、いわゆるドライビングシミュレータ

(3) 計算模擬装置

非実時間での車両運動や波浪外力等の詳細な計算や、実時間での模擬視界生成及び操縦入力を反映した車両運動等の計算を行う装置から構成される。

本シミュレータの車両モデルはモジュール構造となっており、車両の構成要素である動力装置、懸架装置、水陸両用車の装備として特徴的な水上推進装置などが各々独立した数学モデルで記述されている。そのため、性能や機能が異なる構成要素を容易に組み替え、または、新規構成要素の追加が可能である。この機能を利用することにより、仮想試作による将来車両等の検討を可能としている。

また、本シミュレータを活用することで、実車試

験が危険な複雑な水際域での厳しい波浪環境についても、試験条件の補間及び安全性評価に係る機動性能評価を行うことができる。

図2に研究試作における関連試験での水槽試験実施状況を示す。シミュレーションにおいて流体が車両に及ぼす影響を表現するデータを取得するため、平水、波浪中で模型車両を曳航する水槽試験を行い、車体に作用する外力や車両の状態量を計測し、車両運動を算出する運動方程式の波浪影響による外力項や各種係数を決定した。

3. 今後の予定

本シミュレータは、平成31年9月に納入され、その後、非実時間及び実時間のシミュレーション試験並びに本シミュレータの性能評価のための水上域及び水際域での実車試験を含む各種試験を実施する計画である。

また、長官官房装備開発官(陸上装備担当)が実施中の「将来水陸両用車の研究」において、シミュレーションによる評価・検討に本シミュレータを活用する予定である。

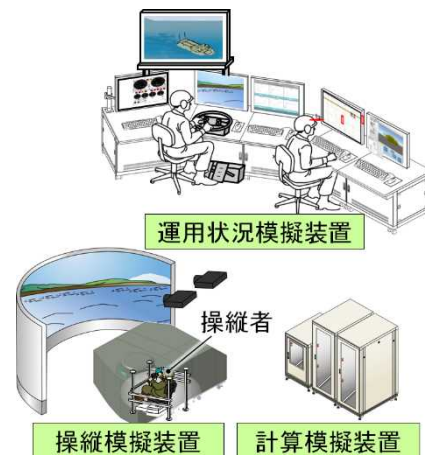


図1 車両用多種環境シミュレータの構成



図2 模型車両及びその水槽試験の状況

^{*1}陸上装備研究所機動技術研究部 機動力評価研究室

^{*2}長官官房装備開発官(陸上装備担当)付 第3開発室

艦艇装備研究所における水中無人機への取組と岩国海洋環境試験評価サテライト(仮称)の整備について

○岡部 幸喜*1、綾部 信吾*2、熊沢 達也*2、平井 智大*2、栗原 一樹*2、山口 智之*2

1. 緒論

無人水中航走体(Unmanned Underwater Vehicle、以下「UUV」という。)は将来の海上戦を支援する有力な手段として期待されており、艦艇装備研究所においても UUV 関連技術の研究を重点的に取り組んでいるところである。本発表においては、艦艇装備研究所の UUV 研究への取組及びUUV研究を促進するために現在整備している岩国海洋環境試験評価サテライト(仮称)の運用構想について述べる。

2. UUV 事業への取組について

艦艇装備研究所は、既に機雷搜索や海域調査等に用いられている短期間運用の小型、中型の UUV の能力向上を図るため、UUV に対し並列航走する水上無人航走体を通信中継器として活用するための協調制御技術、水中通信技術について研究を実施した。さらに、将来期待されている遠距離進出や高度な任務支援が可能な UUV を実現するために、航続距離の延伸を目的とする UUV 用燃料電池発電システムの研究、将来の UUV に必要となる自律性の高度化に関する研究を実施しており、加えて、遠距離進出能力の研究を目的とし、多用途に利用可能なモジュール構造を有する大型の UUV の研究試作事業を今後計画している。

3. 岩国海洋環境試験評価施設について

UUV の研究開発事業を推進していくに当たって、多種多様な海洋環境や運用の条件下における UUV の自律航行制御や音響センサの機能・性能の評価を十分に実施し、高い信頼性を確認する必要がある。一方で、これらの試験評価を実海面で実施する場合には、多大なコストと期間を要する。このため、陸上において多様な模擬環境を構築することにより、UUV の試験評価を効率的かつ効果的に行うための施設として岩国海洋環境試験評価サテライト(仮称)を平成 33 年度以降の早い段階から順次運用することを目指し整備中である(図1)。

なお、本施設は、平成28年3月にまち・ひと・し

ごと創生本部において決定された「政府関係機関移転基本方針」に基づき整備を進めており、「民生分野との研究協力や試験評価施設の活用による国内の UUV 分野に関する技術の向上」を目指す将来像の一つとして掲げている。UUV の研究開発を推進していくに当たり民生分野との協力は必要不可欠であり、山口県・岩国市とともに、本施設を活用した大学・研究機関との研究協力等の推進を図り、我が国の UUV も含めた関連技術の向上に貢献していきたいと考えている。

4. 結言

艦艇装備研究所においては、UUV の構成要素技術の獲得のための各種研究事業を着実に進めていくとともに、岩国海洋環境試験評価サテライト(仮称)の整備・活用により、将来の UUV 装備化を見据えて、速やかな研究成果の発現を目指していく。

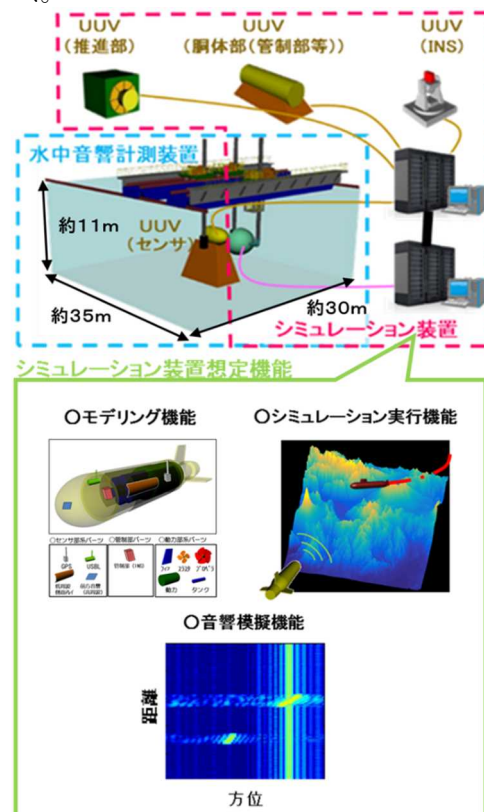


図1 試験イメージ

*1艦艇装備研究所探知技術研究部 音響誘導研究室

*2艦艇装備研究所システム研究部 水中対処システム研究室

高出力レーザ技術の研究

○前田真吾*、鈴木祐仁*、千葉健太郎*、川口健太*、中澤利之*

1. 研究の背景及び目的

近年、航空機のステルス化並びに巡航ミサイル等の高速化、低高度飛しょう化等により、艦船や地上重要防護施設への攻撃等の経空脅威が増大している。これらの脅威に対して、従来の対抗手段である艦(地)対空ミサイル等による対処では、目標の発見から撃破に至るまでの対処時間が短くなるため、防護可能覆域が狭くなると予想される。これらの脅威に対抗するためには、瞬間対処性が高く、複数の目標に対しても繰り返し対処できる高出力レーザによる防空システムの構築が有効である。

このような防空用高出力レーザシステムを実現するためには、移動する目標に高出力レーザの照射を可能とする装置を試作し、高出力レーザシステムの構築に必要な各構成要素技術を確立するとともに、目標への照射効果を確認することにより、将来の防空システムとしての成立性を確認する必要がある。

そこで、平成22年から平成28年まで、防空用高出力レーザ兵器に関する研究(以下「本研究」という。)を実施し、各種対艦(地)ミサイル等に対処可能な近接防空システムを見据え、将来の防空システムとしての成立性を確認するためのプロトタイプシステムを構築した。図1に将来の防空システムの運用構想図を示す。

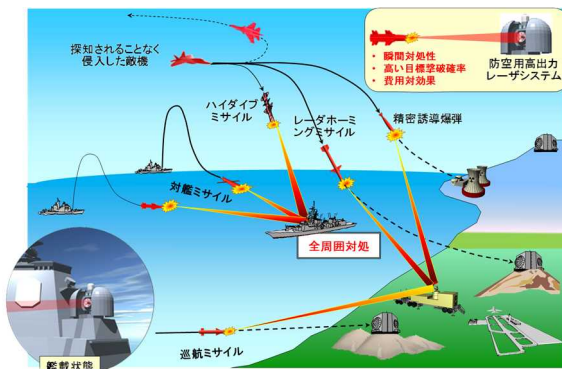


図1 運用構想図

2. 研究内容

本研究では、レーザ発生方式に化学励起ヨウ素レーザを採用し、最大出力 50kW 級のレーザシステムを実現した。図2にレーザ出力の一例を示す。

示す。

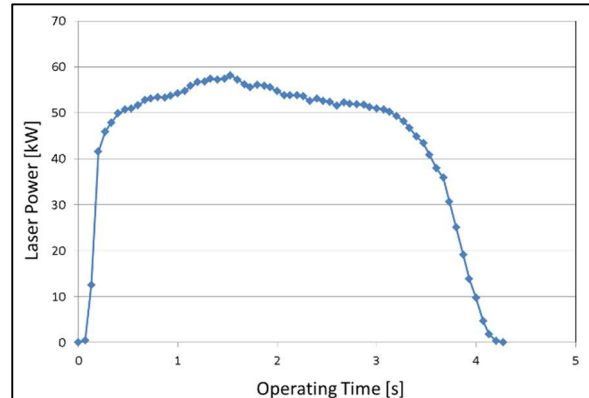


図2 レーザ出力の一例

また、当該システムを用い、最長 1,000m 先に固定した目標に対する照射効果を確認した。図3にレーザ照射時の一例を示す。



図3 レーザ照射時の一例

さらに、移動する目標に対する追尾機能を確認することで、精密追尾技術を確認した。

3. まとめ

出力 50kW 級のレーザシステムを用い、離隔した目標に対する照射効果を確認するとともに、精密追尾技術を確立した。

当該研究成果をベースとして、平成30年度から新たな研究を実施している。

*電子装備研究所電子対処研究部 電子戦統合研究室

多目的自律走行ロボット技術の研究

○小林星平*1、原崎俊栄*1、松澤 豊樹*1

1. 背景・目的

非対称戦闘や国際平和協力活動等における偵察、警戒、物資輸送等の多様な任務において使用することができる自律走行ロボットは、隊員の被害の極小化(ゼロカジュアルティ)の実現に極めて有効な手段であると考えられる。

先進技術推進センターでは、先行研究である「陸上無人機」において、晴天時の静止障害物回避等の自律走行研究に取り組んだ。本研究では、雨、霧等の悪天候環境下や人、車両等の移動障害物の存在する動的環境下における自律走行を技術的課題として、「多目的自律走行ロボット技術」の確立をめざし、実環境において各種自律走行を実施した。

2. 研究内容

多目的自律走行ロボットは、民間の自動運転車両に用いられるセンサ類を組み合わせることで搭載し、自律走行ソフトウェアにより、環境認識し、走行可能範囲を抽出し、経路計画を行い、車体制御する装輪及び装軌式の車両ロボットである(図1)。センサ類の配置や車体の運動性能は、装輪及び装軌で異なるものの、自律走行ソフトウェアモジュールは装輪及び装軌とも共通したものであり、以下の特徴を有している。

○環境認識のうち路面認識機能

無舗装路や不整地における自律走行が必要であることから、自動運転用の地図を前提とせず、センサ情報を統合して、路面の状況・形状を認識して、ダイナミックマップを生成し、走行経路を計画する方式を採用している。

○動的環境に応じたレイヤー構造の地図

走行中にダイナミックマップを作成するため、路面と移動障害物(例えば、車両や歩行者)を分離するレイヤー構造の地図アーキテクチャを採用している。更に、移動障害物に関しては、移動方向を予測して制動あるいは回避行動をとれることを確認している。(図2)

○無舗装路における自律走行

将来の偵察・警戒等の任務を模擬した自律走行を実施し、操用性等について確認している。

3. 今後の予定

実環境での自律走行試験において、対応可能な環境を明確にすることができた。今後は、機械学習等を適用して、環境認識機能等を向上させ、自律走行可能な範囲を拡大していくことを計画している。



図1 多目的自律走行ロボットの概要



図2 動的障害物の回避(停止/回避機動)

*1先進技術推進センター研究管理官(ヒューマン・ロボット融合技術担当)付 ロボットシステム技術推進室

Mixed Reality コックピット実現に向けたワークロード推定に関する研究

○高木良規*, 湯浅博*

1. 背景

当研究室では将来の無人機/有人機連携を念頭に、柔軟かつ直感的な操作表示が期待できる Mixed Reality 技術を活用したコックピットについて検討を進めている。このようなコックピットを実現するためには、ワークロードをリアルタイムに推定する技術が重要と考えられる。

空対空戦闘環境下での機体操作(作業負荷)に対しパイロットが示す内的反応(作業負担)の評価は、これまで TLX(Task Load Index)等に代表される主観的評価が中心であった¹⁾。一方、近年の機械学習にかかる分析技術の進展から、パイロットの生理学的な反応からリアルタイムにワークロードを推定する技術についても進展が見られる²⁾。そこで本稿では、空対空戦闘シミュレーション環境下のパイロット音声情報を用いたワークロード推定技術について検討した。

2. 研究の手法

以前実施された将来アビオニクスシステムの性能確認試験で取得された、空対空戦闘シミュレーション時のパイロット音声情報を活用し、ニューラルネットワークを用いたワークロード推定について初歩的な検討を行った。

(1)ワークロード推定に用いたデータ

ワークロード推定には図1に示すデータリンクの有無(条件1及び2)におけるパイロット音声情報及び TLX の結果を用いた。

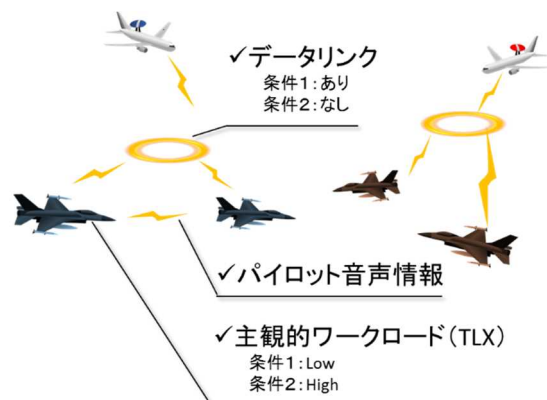


図1 ワークロード推定に用いたデータ取得環境

(2) 音声特徴量

ワークロード推定には、一般に音声認識で広く用いられるメル周波数ケプトラム係数(MFCCs、MFCCs Δ 、MFCCs $\Delta\Delta$)等を採用した。メル周波数ケプトラム係数等は12次元のベクトルとし、パイロット音声情報の有声区間を0.1秒毎の音声フレームに分割することで得られる各音声フレームに対し算出した。

(3)ニューラルネットワーク

本研究で使用したニューラルネットワークの構成を図2に示す。

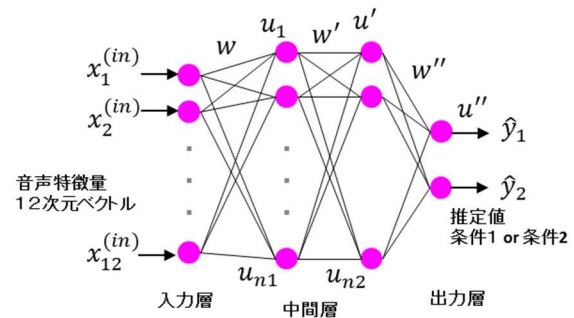


図2 ニューラルネットワークの構成

3. まとめ

Mixed Reality コックピット実現に向けた検討の一環として音声特徴量からワークロード推定を推定する技術について紹介した。今後、音声以外の生理学的反応を利用した推定技術についても検討する予定である。

参考文献

- 1) S. Hart, L. Staveland, "Development of NASA-TLX (Task Load Index): Result of empirical and theoretical research", Advances in psychology, vol.52. Human mental workload pp. 139-183, 1988.
- 2) A. Fong, C. Sibley, A. Cole, C. Baldwin, and J. Coyne, "A Comparison of Artificial Neural Networks, Logistic Regression, and Classification Trees for Modeling Mental Workload in Real-Time", HFFS 54th Annual Meeting, San Francisco, CA, Sep. 30 2010.

*航空装備研究所航空機技術研究部 搭載装備研究室

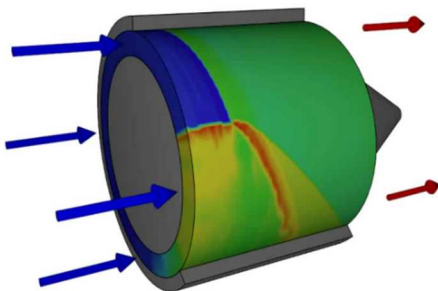
ローテティング・デトネーションエンジンの研究

○安藤友香^{*1}、山田誠一^{*1}、山根喜三郎^{*1}、及部朋紀^{*1}

1. 背景及び目的

現在、航空機や誘導武器の推進システムはガスタービンエンジンが主流ではあるが、近年、新たなエンジン形式が注目されており、ローテティング・デトネーションエンジン(以下「RDE」という。)(図1)はその一つである。デトネーションとは、衝撃波と火炎が相互干渉しながら超音速で伝播する燃焼のことである。RDEは、それらを円周方向に伝播させることで連続燃焼を可能としたエンジンを指し、ガスタービンエンジンよりも高い熱効率とエンジンの小型化が期待される。未だ十分に作動特性が解明されていないが、推進システムとして適用することができれば、ゲームチェンジャーとなり得る技術である。

本研究は、科学技術者交流計画(ESEP)において、米空軍研究所でRDEの研究を行っていた米軍技術者とともにRDEを仮作し、それを用いて燃焼試験を実施することで、将来の推進システムとして、RDEの実現性の評価を行うものである。

図1 RDE 温度分布図¹⁾

2. 研究の進捗

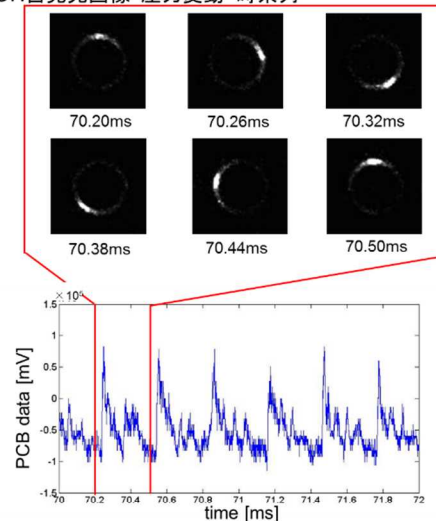
本研究で仮作したRDEは、米空軍研究所にて実績のあるRDEをベースに設計し、現在、水素燃料を使用して、約1秒間の作動確認まで完了している。

作動確認の際は、RDE内の圧力変動の計測と、燃焼反応によって発生するOHラジカルの発光を対象としたOH自発光高速撮影を実施した。その結果から、図2に示すとおり、RDE内の圧力変動と燃焼反応域の相関及び燃焼現象の超音速伝播が発生していることを確認した。計測した変動は約3kHzの周期性をもっており、衝撃波と火炎は、径147mmの円周を約1400m/sで伝播し

ていることがわかった。また、燃料流量の違いにより、燃焼現象の挙動が変わることがわかった。

今後は、RDEの実用化のための技術課題である冷却機構を備えたRDEを仮作し、長秒時の作動におけるデータを取得することで、作動状態を確認し、RDEの実現性の評価を行う計画である。

OH自発光画像・圧力変動 時系列



OH自発光計測・圧力変動計測 周波数解析結果

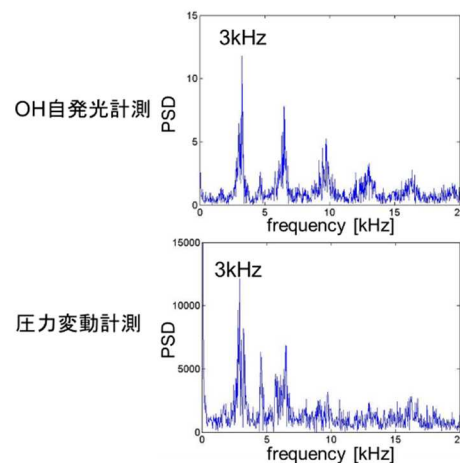


図2 計測結果

参考文献

- 1) Scott Theuerkauf, et al., "Experimental Characterization of High-Frequency Heat Flux in a Rotating Detonation Engine", 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA-2015-1603, 8 January 2015

^{*1}航空装備研究所エンジン技術研究部 エンジンシステム研究室

光波ドームを使用した対空誘導弾の研究について

○平井単宇*¹、池上喜幸*¹、山下皓大*¹、佐藤侯治*¹、山口裕之*¹

1. 背景

弾道ミサイルや高高度高速 CM (Cruise Missile) 等の高速脅威やステルス機等の経空脅威に対して、本研究では、図1にあるように赤外線シーカ(センサ、光波ドーム、光学系で構成)を搭載した SAM (地对空誘導弾) や AAM (空対空誘導弾) による対処を検討する。

2. 高速飛しょう光波誘導弾用光波ドーム

弾道ミサイルや高速 CM 等の脅威は、赤外線を吸収・散乱する雲や雨等の影響を受けない高高度を侵攻し、かつ直撃による無効化が強く望まれるため、この領域における迎撃では赤外線シーカを用いた精密誘導が必要である。また、高速脅威に対処するため SAM も高速で飛しょうする必要があることに加えて、SAM の先端に発生する衝撃波等の環境下に対応した光波ドームが必要であるが、我が国では当該技術についての知見がない。そのため、本研究を実施した。

図 2 のとおり、飛しょう体先端周辺に発生する衝撃波に起因した空気密度変化により、目標の放射する赤外線が光波ドームのウィンドウ到達までに屈折する(光路歪み)。この光路歪みの影響についてラムジェットエンジン試験設備(JAXA 角田宇宙センター)においてデータの取得及び検討を実施し、所望の成果を得た。また高速飛しょう時では、空力加熱が光波ドームに発生する。この環境下での光波ドームの耐性を検討するために、光波ドームの耐熱性試験を実施したところ、所望の成果を得た。

また、空気の薄い高高度において誘導を実施するために、空力の他にサイドスラストや推力偏向技術を用いた新たな制御技術の研究を現在実施しているところである。

3. 対妨害能力向上光波誘導弾用光波ドーム

近年、戦闘機等のエンジン温度と同程度の低温フレアが出現している。このような高性能化されたフレアによる妨害については、従来の1波長のみの赤外線による識別は困難であり、正確な識別を実施するために、中波長・長波長の両方の赤外線を使用する手法が有効である。

そこで本研究では図 3 にあるように中波長・長波長 2 波長の赤外線を透過する光波ドームについての検討・検証を実施し所望の成果を得た。

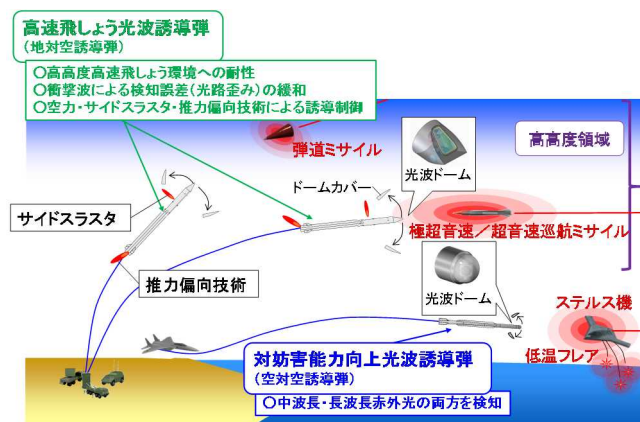


図 1 運用構想図

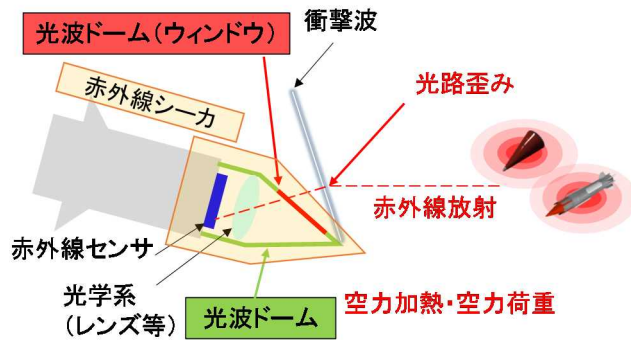


図2 高速飛しょう光波誘導弾用光波ドーム

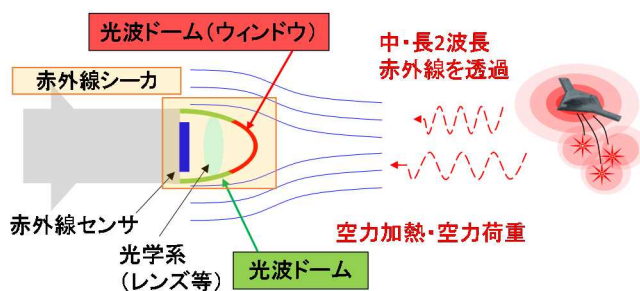


図3 対妨害能力向上光波誘導弾用光波ドーム

*¹航空装備研究所システム研究部 誘導武器システム研究室

低RCS対処ミサイル誘導制御技術の研究

○田部一樹^{*1}、今莊保^{*1}

1. 背景と目的

近年、低RCS(Radar Cross Section、レーダ反射断面積)化、いわゆる電波ステルス化された航空機や巡航ミサイルは、我が国のみならず諸外国においても研究・開発が進められており、我が国の防空にとって脅威として顕在化しつつある。このような低RCS目標に対して電波ホーミング式の対空ミサイルによって対処する事態を想定した場合、目標からの電波反射が従来の目標よりも小さくなることから、対空ミサイルによる目標検出が遅れ、自律追尾が可能となる距離が従来よりも短くなってしまう。さらに、追尾を開始したとしても、目標の進行方向へ向けてミサイルの軌道を修正(終末誘導)する十分な時間が確保困難なことから命中精度が低下し、結果的にミサイルの有効射程が縮減する。

本研究は、追尾開始距離を延伸するための「予測型目標検出処理」と、より短い時間でより正確な終末誘導をするための「予測型最適誘導制御」と呼ぶ2種類の技術について、将来の対空ミサイル開発事業への適用を図ることを目的として基盤的検証を行ったものである。

2. 研究の概要

予測型目標検出処理とは、電波シーカが受信した1フレーム(一定の信号処理時間単位)分の情報だけではS/N(Signal to Noise Ratio、目標信号と雑音信号の比)が低く目標検出が困難な距離であっても、複数フレーム分の情報を積分することでS/Nを向上させ、目標検出を試みる処理である。しかしながら、目標が加速運動を行っていた場合、目標信号のドップラ周波数は各フレームで時々刻々変化していることから、このまま複数フレーム分の信号を積分処理しても、目標信号を効率的に累積することは困難である。そこで、予測型目標検出処理では、各フレームにおける目標信号のドップラ周波数の遷移を確率密度モデルから推定し、最も確率の高いと考えられる遷移経路に沿って各フレームの目標信号のドップラ周波数変化を補償することで、効率的な積分処理を可能としている。

予測型最適誘導制御とは、モデル予測制御を応用したものであり、終末誘導中に簡易シミュレーションを高速で繰り返し、未来の応答を予測しながら最適な経路を計算する航法演算手法である。具体的には、検出した目標信号から目標の運動状態を推定し、この状態量と誘導弾運動モデル及び目標旋回モデルに基づき、一定の区間(時間)までの未来の運動についてシミュレーション計算を実施する。このシミュレーション計算を逐次高速で繰り返すことにより、評価関数を最小に収束させることができる最適な飛翔経路を算出している。

本技術の検証のため、これらの機能を実装した試作品を製作し、試験評価を実施した。航空機及び標的機を用いたフィールドデータを取得したところ、予測型目標検出処理により従来の目標検出方式に比べ、追尾開始距離を延伸できることを確認した。また、試作品を飛翔模擬装置に組み込み、屋内環境で射撃を模擬して行うHWIL(Hardware In the Loop)シミュレーション試験によって、低RCS目標に対して予測型最適誘導制御が有効に機能することを確認した。シミュレーション試験を行うに当たっては、取得したフィールドデータを将来の対空ミサイル相当の性能値に換算し、シミュレーションモデルや設定条件に反映することで、将来の対空ミサイルが発揮し得る能力を評価した。

これらの結果、本技術の適用により、従来の誘導制御方式では命中精度が足りず対処が困難な位置関係であっても低RCS目標に対処可能となり、対空ミサイルの有効射程を拡大できる見通しを得た。



図1 フィールドデータ取得の様子

*¹航空装備研究所誘導技術研究部 誘導制御研究室

艦艇の基本設計 —新艦艇30FFM—

○小村祥子^{*1}

1. 発表目的

平成30年度計画護衛艦（以下「30FFM」という。）は、多様な任務への対応能力の向上と船体のコンパクト化を両立させた新たな護衛艦（新艦艇）として要求され、その取得に際しては、民間参画型の取得方式である企画提案方式が採用された。

本発表では、艦船設計の流れを説明するとともに、企画提案方式における艦船設計官の役割及び30FFMについて紹介することを目的とする。

2. 発表内容

(1)艦船設計の流れ

従来、艦船の設計は、要求性能、概算要目の作成、基本計画、基本設計、詳細設計という流れで行われ、艦船設計官は基本設計までを担当している。これに対して企画提案方式を採用した30FFMでは、要求性能概案を基に艦船設計官で試設計を行い、その結果を企画提案要求に反映させ提案を募った。各社から提出された企画提案書は海上幕僚監部及び装備庁が一体となって評価・選定した後、装備庁による審査会形式で基本設計図書を作成し、現在は詳細設計を行っているところである。（図1参照）

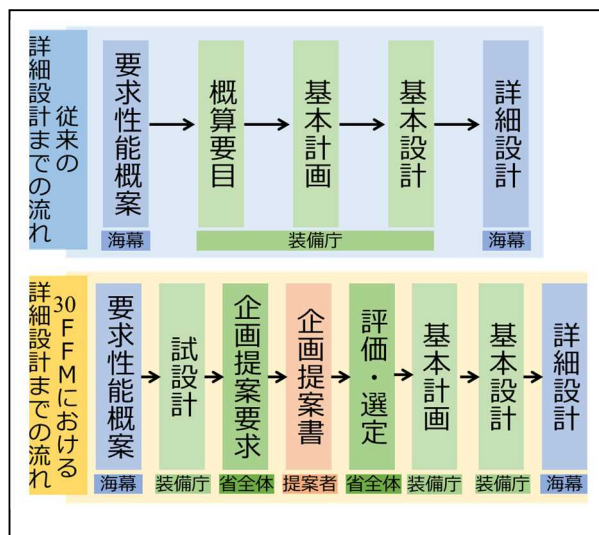


図1 設計の主な流れ

(2)艦船設計官の役割

今回の企画提案方式では、民間企業から建造の工程を見据えた具体的かつ実現可能な設計の提案を募った。設計の要件等は海上自衛隊からの要求として示されたが、その要求の成立性、つまり船として安全性やたん航性等が確保できる要求であるかの確認のため、また、要求を設計に反映させるためのコンセプトの構築のための試設計を艦船設計官において行った。

(3)新艦艇30FFMの設計

企画提案が採用された造船会社からは、冗長性のある設計やRCSの徹底した低減による防御能力の向上といったアイデアが示された。艦船設計官においては、各種戦機能と機雷戦機能の両立、様々な新規装備品・開発品及びUSV搭載をはじめとする新機軸の最大能力発揮等をコンセプトとした。またRCSを含む各シグネチャの低減や、戦闘艦船として求められる耐衝撃性等を考慮して試設計を実施した。

造船会社が建造も含めたノウハウやアイデアを持つ一方で、艦船設計官は、防衛省旧技術研究本部から受け継ぐ、様々な艦種（護衛艦、潜水艦、掃海艇、補給艦、輸送艦等）及び各造船会社が建造した艦船のすべての基本設計を担当してきた高い知見を持つ。造船会社のノウハウとアイデアに、艦船設計官がその知見をもって、要求と設計の橋渡し役及び企画提案の評価の基準を示す役割の一端を担って設計されたのが新艦艇30FFMである。

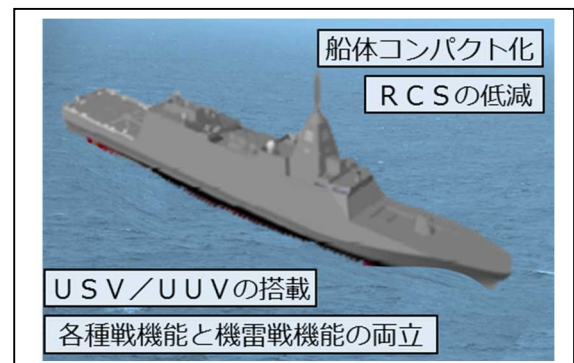


図2 新艦艇のイメージ図

^{*1}長官官房艦船設計官付

NDS 防振ゴムによる耐衝撃ぎ装の検討

○大塚宏行*

1. 研究の背景

海上自衛隊の艦艇に装備する電気機器は「防衛省規格(NDS)」に基づき製造され、耐衝撃性能についても規格を満たすように設計、製造及び検査が行われており、民生品に比べて高い耐衝撃性能を有している。

しかしながら、近年実施された実艦を使用した水中爆発試験の結果、装備する位置によっては設計時に想定している衝撃レベルを上回る可能性があることが判明した。

2. 研究の目的

防衛省規格の防振ゴム(以下「NDS 防振ゴム」という。)を使用した場合の耐衝撃ぎ装要領を作成することで艦艇に装備する電気機器の耐衝撃能力をさらに向上させる。

3. 研究の方法

防衛省規格では、耐衝撃性能に関する規格のほかにも様々な規格があり、機器の防振を目的として既に艦艇で多数使用されている防振ゴムについても規格化されている。この NDS 防振ゴム(図 1)を耐衝撃マウントとして使用した場合、入力される衝撃加速度に対してどの程度緩衝効果があるかを把握し、当該防振ゴムを使用した耐衝撃ぎ装要領の検討を行った。

実際に行った試験では、電気機器の質量を模擬するダミーウエイトに NDS 防振ゴムを耐衝撃マウントとして使用し、供試体下部から衝撃を加えて応答加速度等を計測して、入力する衝撃を耐衝撃マウントで、どの程度緩衝できるかを確認した(図 2)。また、NDS 防振ゴム以外のいくつかの耐衝撃マウントについても同様に試験を実施し、以下の項目について確認及び検討を実施した。

- (1)各種耐衝撃マウントの特性比較
- (2)NDS 防振ゴムのサイズと応答加速度の関係
- (3)耐衝撃ぎ装要領(案)の立案

4. 試験結果

(1)各種耐衝撃マウントの特性比較

NDS 防振ゴムを含む各種耐衝撃マウントについて試験を実施して特性を比較したところ、試験を行った各種マウントは、すべて応答加速度と応

答変位が相反する関係にあり、装備スペースに限りのある艦艇の設計では、加速度と変位の両面からの検討が重要であることを確認した。

(2)NDS 防振ゴムのサイズと応答加速度の関係

異なるサイズの NDS 防振ゴムの特性を比較したところ、NDS 防振ゴムの衝撃緩衝特性は、サイズが異なっても、ある程度の入力衝撃のレベルまでは一定であることを確認した。

(3)耐衝撃ぎ装要領(案)の立案

NDS 防振ゴムを耐衝撃マウントとして使用する場合のぎ装要領について試設計、評価試験等の検討を実施中である。

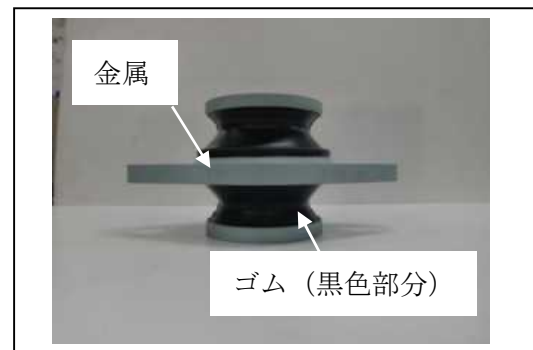


図 1 NDS 防振ゴムの外観 (一例)

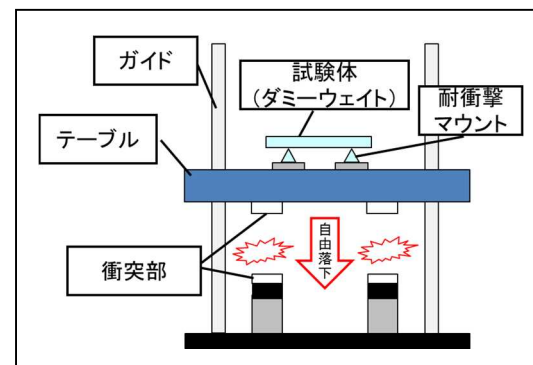


図 2 衝撃緩衝特性把握試験の概要

5. まとめ

本来は防振を目的として使用される NDS 防振ゴムにおいても、ある程度の衝撃緩衝性能を有することを試験によって確認できた。

他方、実装備に当たっては、入力する衝撃の設定方法や NDS 防振ゴムの取付け部の構造などについても更に検討する必要がある。

*長官官房艦船設計官付 第5設計室

圧縮センシングを用いたパッシブソーナー信号処理技術の研究

水戸川和正^{*}、奥山智尚^{*}、工藤孝弘^{*}、新村理^{*}、永田安彦^{*}

1. 背景及び目的

パッシブソーナーは水中目標(潜水艦等)が発する音を探知し、目標の種類や方位を推定するが、近年は各国とも潜水艦の静粛化が進み、従来対象としていた、一定の周波数帯域に集中した定常的な音源の探知が困難となっている。これに伴い、ソーナーの対象周波数を広帯域化し、新たな音源を探知する必要性が高まっている。そこで、本発表では、画像のノイズ除去等に用いる圧縮センシング技術¹⁾をソーナーに適用した、圧縮整相処理による広帯域化の成果を示す。

2. 従来の整相処理及び圧縮整相処理の原理

パッシブソーナーは多数の受波素子で構成される受波アレイを持つ。従来の整相処理では、対象周波数の音の半波長間隔に素子を並べ、各素子の位置関係に応じて位相を調整した各受信信号を合成することで、信号対雑音比の向上及び目標方位の推定を行う。しかし、従来の整相処理は、対象とする周波数帯域が狭く、対象帯域より低い周波数では方位推定精度が低下し、対象帯域より高い周波数では虚目標が発生する問題がある。

本研究で検討した圧縮整相処理では、各受信信号に対し波動方程式を元に「各素子がこの受信信号を得るのは、どの方位に音源がある場合か」という伝搬の逆問題を解き、音源方位を推定する。また、圧縮整相処理においては、各受波素子の配置を任意にとることができ、対象音の半波長間隔という制限から解放される。このため、不等間隔に素子を並べたアレイと圧縮整相処理の適用により、低周波数域での方位推定精度向上及び高周波数域で生じる虚目標の抑制が見込まれる。

3. 比較試験結果

静岡県内浦湾において、同じ全長・素子数の等間隔アレイ(対象周波数を f とおく)及び不等間隔アレイを海中に吊下し、目標を模擬した音源からの音を両アレイが受信した信号に対し、それぞれ従来の整相処理と圧縮整相処理を施した。両アレイの素子配置及び処理結果を図に示す。

周波数 $0.5f$ の音に対し従来の整相処理では、目標方位近傍の広範囲で信号レベルが大きく、方位推定の精度が低い。一方、圧縮整相処理で

は、ごく狭い範囲でのみ信号レベルが大きい。また、周波数 $2f$ の音に対し従来の整相処理では、全く異なる方位に同じ信号レベルをとる虚目標が発生しているが、不等間隔アレイを用いる圧縮整相処理では虚目標は発生しない。

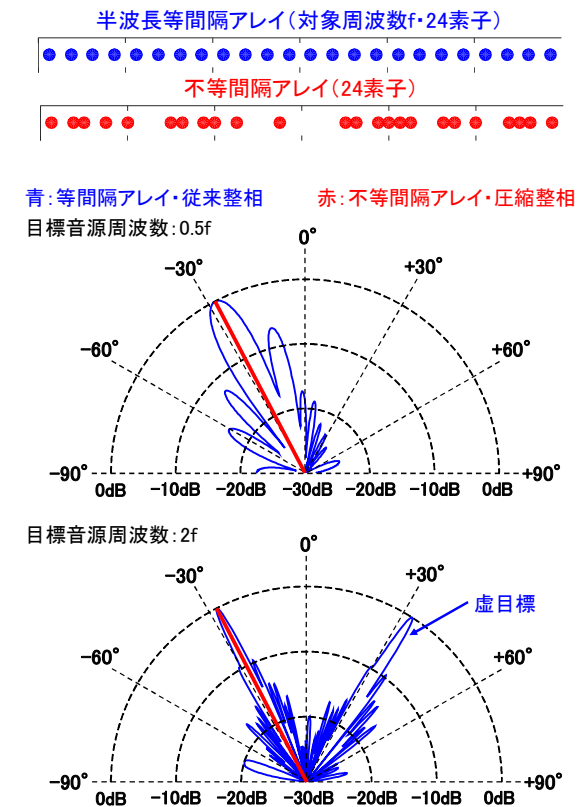


図 両整相処理の比較試験結果
(目標方位: -28°)

4. おわりに

パッシブソーナーの対象周波数を広帯域化できる圧縮整相処理であるが、大きな計算量を必要とし、また計算パラメータの設定によって処理結果が大きく変化するという課題がある。実用化に向け、計算量の削減や最適パラメータの探索等に関する研究を継続する予定である。

参考文献

- 1) 田中利幸, “圧縮センシングの数理”, IEICE Fundamentals Review, Vol.4 No.1, pp39-47, Jul. (2010)

^{*}艦艇装備研究所探知技術研究部 海洋信号処理研究室

先進対艦・対地弾頭技術

○岩井正太郎*、関口和巳*、阿曾沼剛*

1. 背景と目的

空母、駆逐艦、ミサイル艦、上陸用舟艇等の種々の艦艇に対処可能であり、かつ、地上に展開する目標にも対処できる島嶼防衛用誘導弾用を想定し、その弾頭に関する研究を行うこと、及び目標への弾頭の効果を見積もるシミュレーションの精緻化と設計の効率化のため、その危害予測に関する研究を行った。図1に運用構想を示す。

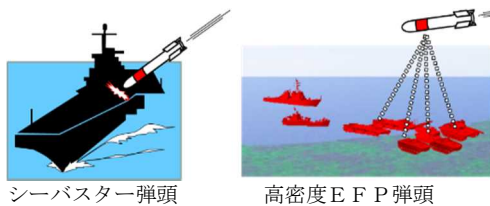


図1 運用構想

2. 実施内容

本研究のうち、平成27年度～29年度の研究試作(その1)では、空母の飛行甲板等の撃破を目標としたシーバスター弾頭と地上に展開する目標の面制圧を目的とした高密度EFP^(注)弾頭を試作した。また平成28年度～30年度の研究試作(その2)では、高衝撃に耐える必要があるシーバスター弾頭の信管部を試作中である。

シーバスター弾頭は、空母の飛行甲板等の撃破を目標としており、高い貫徹力を実現するため、先駆弾頭及び主弾頭からなるタンデム弾頭とした。このため、先駆弾頭や主弾頭の形状を最適化するなどの目的で関連試験を行い、設計データを取得した。

高密度EFP弾頭は、地上に展開する侵攻部隊の車両等の面制圧を狙った弾頭で、EFPと呼ばれる高速飛翔する金属片を弾頭1つ当たり数十個生成可能なものである。この設計に資するべく、EFPの侵徹力向上や飛翔方向の制御を目指した関連試験を行い、設計に必要なデータを取得した。

図2に研究試作(その1)で製作した試作品のカット模型を示す。

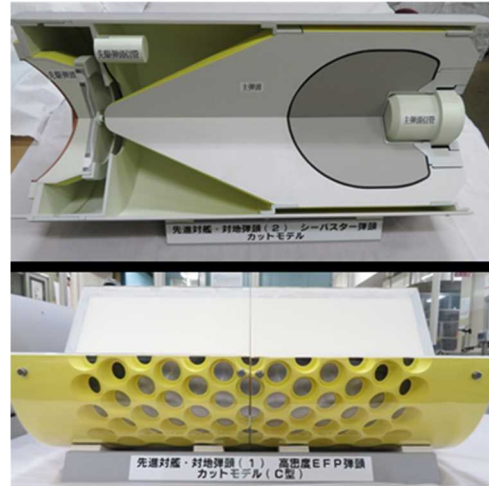


図2 研究試作(その1)

試作品カット模型

上段：シーバスター弾頭

下段：高密度EFP弾頭

平成30年度は、既に納入された研究試作(その1)の試作品及び納入予定の研究試作(その2)の試作品の性能確認試験を実施する。本研究で獲得した新たな弾頭技術は、将来の誘導弾の開発へ反映させる計画である。

(注) EFP・・・Explosively Formed Projectile
の略。爆発成形弾。

*陸上装備研究所弾道技術研究部 終末効果・防護研究室

ハイブリッド動力システムの研究

○吉川毅*、森智章*、平秀隆*、山田浩司*、藤口信行*、椿尚実*、竹田陽一*、金内由紀夫*、齊藤翔太*

1. 背景

将来の自衛隊車両には、不整地走破性や俊敏性といった機動性能に加え、自車の安全性を高めるため、ステルス性も重要になってくると考えられる。ハイブリッド動力システムは、複数の動力源を併用することで機動性及びステルス性が両立可能なシステムであり、当該システムを用いた車両は将来の自衛隊車両に有望と考えられる。

2. 目的

本研究では、機動性及びステルス性の向上に加えて、燃料使用量低減も期待できるハイブリッド動力システムを試作し、このシステムの性能及び効果について確認することで、将来、自衛隊車両に適用可能なハイブリッド動力システムを確立することを目的とする。

3. 概要

ハイブリッド動力システムを搭載した装軌式車両を用いて、陸上装備研究所において台上試験を行い、また札幌試験場及び北海道大演習場（東千歳地区）において実走行試験を実施し、表に示す機動性能等の評価を行った。表に本ハイブリッド車両で達成した主要な諸元と性能を示す。

表 主要な諸元、機能及び性能

車両寸法	全長 5.5m、全幅 2.8m、 全高 2.2m
車両質量	約 13t
最高速度	約 75km/h
旋回性能	超信地旋回可能
燃費性能	約 44%向上
蓄電池走行時間	約1時間(10km/h 時)

路上試験(図1)により加速・最高速度や旋回性能、静粛性等を、路外試験により不整地における燃費性能を評価した。また、ハイブリッド化による能力向上を評価するため、現有装備品である 73 式装甲車と、加速性能及び路外における燃費性能(図2)を比較した。その結果、加速性能が大き

く向上し、また燃費は約 44%向上するという結果が得られ、ハイブリッド化による性能向上効果が確認できた。



図1 路上試験の試験状況



図2 73式装甲車との燃費性能比較

4. まとめ

自衛隊車両のハイブリッド化による能力向上を検証するため、ハイブリッドシステムを搭載した装軌車両を研究試作して性能評価を行った結果、従来型車両よりも機動性能や燃費性能が大幅に向上するという成果が得られた。また、ハイブリッド車両はバッテリーのみでも行動できるためステルス性が向上でき、車外への電力供給も可能なため将来の自衛隊車両の活用範囲を大きく広げられると考えられる。米陸軍との日米共同研究によるハイブリッド車両の試験評価方法の確立とともに、将来の自衛隊車両のハイブリッド動力化に向けて、引き続き研究を進めていく予定である。

*陸上装備研究所機動技術研究部 車体・動力研究室

IED 走行間探知技術の研究試作

○今井 健^{*1} 中島 弘朋^{*1} 濱本 善久^{*1} 重松 康祐^{*1} 木全 哲也^{*1} 森田 淳子^{*1}

1. 背景及び目的

郊外及び都市部に敷設された即製爆発装置（Improvised Explosive Device: IED）の脅威から人員及び車両を防護するため、隔離した状態で IED の敷設位置を探知する器材が必要である。そこで我々は、車列に対する IED の攻撃に焦点を当て、IED 探知性能向上及び運用性向上に関する技術を確認することを目的に、IED 走行間探知技術の研究試作を実施した。図 1 に試作品全景を示す。



図 1 試作品全景

2. 試作の内容

本試作品は、自衛隊車両である高機動車、及び高機動車に搭載された IED を探知するセンサから構成されている。センサ部には従来の研究で得られた成果をもとに、マイクロ波レーダ、ミリ波レーダ及び赤外線撮像装置の 3 種類を採用し、統合処理による探知性能向上を目指した。また、実際の運用

に近い環境における計測に耐えられるよう、各種耐環境性を持たせるとともに、未舗装路を走行する際の動揺の影響を軽減することにより、探知性能の低下を防ぐ機能も有している。

なお、運用性向上のための機能として、IED を自動的に探知、判断を行う自動探知機能や、3 種類のセンサの探知結果を統合した上で×印と操縦席のモニタ上に表示する統合表示機能（図 2）、及び運用者に最適な経路を提示するナビゲーション機能を搭載した。



図 2 統合表示機能（上）統合表示結果の例（下）試作品操縦席モニタ

本試作品の様々な環境条件における探知性能及び機能を調べるため、今年度は千歳試験場において性能確認試験を実施しており、今後は砂漠地帯である米陸軍ユマ試験場における試験を予定している。

^{*1} 陸上装備研究所機動技術研究部 脅威探知・対処研究室

将来軽量橋梁技術の研究

○鈴木 洋史^{*1} 中田 光洋^{*2} 山田 順一^{*1}

1. 背景及び目的

有事において陸上部隊を高機動・迅速展開させ、また、大規模災害等における被災地域の復旧支援等に資するため、河川、地隙等の自然障害及び都市部の護岸された水路、対戦車壕等の人工障害に対し、速やかに架設可能とする将来軽量橋梁の構成要素に関する技術確立することを目的に、将来軽量橋梁構成要素の研究試作を実施中である。図1に橋梁基本構造を示す。

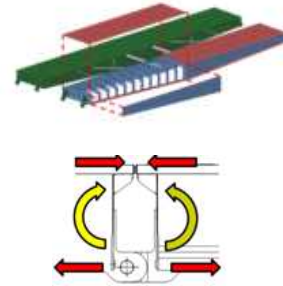


図1 上) 導板部 下) 結合部

2. 研究内容

本試作品は、従来、アルミニウム合金製であった各種作戦用橋梁を、より軽量で高強度の材料である CFRP（炭素繊維強化プラスチック）の複合材を使用することで、橋梁の高強度化及び軽量化を図り、大重量の車両を通過可能とする。加えて、川幅の大きな場合でも対応可能な長スパン化、そして軽量化による架設時間短縮など、橋梁の各種高性能化も期待できる。さらには橋梁全体の軽量化により運搬車両の小型化にも寄与できる。

本試作品の目標性能として、CFRP の繊維配向角や積層構成による断面構造の最適化による高強度化、また現有アルミ構造と比較して 25 %以上の軽量化を目指している。さらに、接合部における連結金具及び CFRP 製主要構造部の接合部での結合方式について、現有アルミ橋梁と比較して同等以上の静強度及び耐疲労性を有することも目標としている。

本研究試作は、平成29年度から平成32年度までの間、研究試作を実施し、平成32年度末に納入後、強度試験等を含む所内試験を開始する予定である。

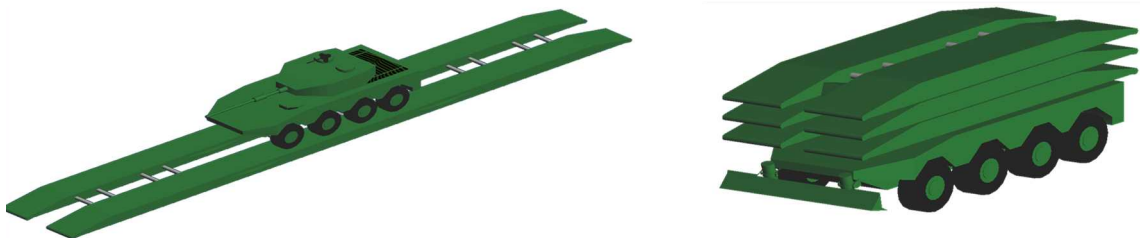


図2 将来軽量橋梁の将来構想図

^{*1} 陸上装備研究所機動技術研究部 障害構成・啓開研究室

^{*2} 技術戦略部技術振興官付 知的資産管理運営室

衝突・爆発に耐える構造システム

○別府万寿博*¹、市野宏嘉*¹

1. 背景および目的

防衛大学校建設環境工学科設計工学研究室では、衝突や爆発荷重を受ける構造物等の耐衝撃設計について研究を行っている。以下では、耐弾プレートに性能評価および構造物に近い位置で爆発が生じた場合の緩衝構造について紹介する。

2. 耐弾に関する研究の内容

ライフル弾のように高速で回転し、かつ先端形状が鋭い衝突体は大きな貫徹能力を有する。このため、ライフル弾を対象とした耐弾プレートの検討を行っている。図1は、セラミックスと繊維を複合した模擬耐弾プレートにライフル弾を衝突させる実験を示している。模擬耐弾プレートは、ポリエステル繊維シートを積層して板状にしたプレートとセラミックスプレートを、ライフル弾を停止しうる厚さに加工して重ね、これら2枚のプレートを樹脂で薄く被覆したものである。プレート表面から8メートル離れた位置にM-1ライフルを設置し、7.62mm徹甲弾を発射した。本実験では、ライフル弾は貫通することなく停止された。今後は、耐弾プレートの軽量化を図るためのプレートの材料および構造の検討を行う予定である。



図1 耐弾プレートの衝突実験例

3. 耐爆に関する研究の内容

爆破テロのように構造物に比較的近い位置で爆発が発生した場合（近接爆発）には、最大爆風圧が非常に大きくなる。そのため、近接爆発を対象とした緩衝構造の検討を行っている。

図2は、アルミハニカムを用いた緩衝構造（ハニカム複合構造）に対して近接爆発実験を行った結果を示している。ハニカム複合構造は、アルミハニカムの上部に荷重を負担するシート（上部シート）を設置したものであり、ハニカムの箔厚、上部シートの材料および板厚を変化させることで、エネルギー吸収能を変化させることが可能である。実験は、図2(a)に示すように、板厚5mmのアルミ製の上部シートを用いたハニカム複合構造に対して、Composition-C4爆薬30gをハニカム複合構造から3.2cm離して爆発させた。

図2(b)は、実験後にハニカム複合構造を切断した写真である。図から、爆風が作用したハニカム複合構造の中心部が大きく凹むことによってエネルギーを吸収している様子がわかる。今後、上部シートやハニカムの種類を変化させて、エネルギー吸収能が高いハニカム複合構造を検討していく予定である。

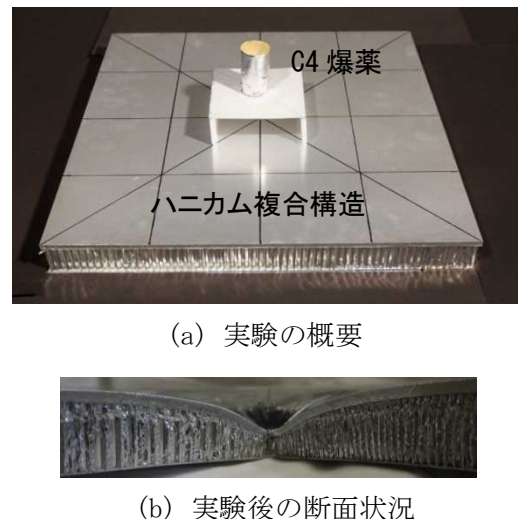


図2 ハニカム複合構造の爆発実験例

*¹防衛大学校システム工学群 建設環境工学科

大規模災害時における社会レジリエンスの評価法

○別府万寿博*¹、香月智*¹、矢代晴実*¹、岩切宗利*²、加藤健*³山田浩之*⁴、市野宏嘉*¹、堀口俊行*¹

1. 背景および目的

近年、気候・地殻変動の影響を受けて、大規模な自然災害が多発する傾向がある。例えば、東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）や連鎖地震を伴う熊本地震など巨大地震の発生が継続している。また、火山噴火活動も活発化しており、今後、富士山など活火山の大噴火を想定した防災計画が不可欠と言える。さらに、台風や集中豪雨による大規模な斜面崩壊や土石流の発生、大規模竜巻の頻発など、安心・安全な社会を構築するために対策を講ずべき自然災害は増加している。

本研究は、特に地震、火山噴火、土石流、竜巻など近年多発し、かつ大規模化する傾向にある災害に関して、防災構造物の提案や補強法および防災シェルターのフラジリティ（脆弱性）評価について取り組んでいる。また、災害時の情報処理や官公庁間の組織連携について検討を行っている。

2. 研究の内容

大規模災害が発生した場合には人命や財産を護るハード対策が必要となるため、防災構造物の提案や補強法に関するハード対策を行っ

ている。また、防災シェルターの脆弱性評価についても研究を行っている。これらの評価を踏まえて、大規模災害が地域社会へ与える影響についてリスク工学的な評価手法の開発を目指している。

次に、発災後の対応としては、災害時における被災情報の収集、最適な避難経路や物資支援法の提案を迅速に行うことが求められる。このため、近年注目を浴びている無人航空機（UAV）を用いた情報収集技術と、その自動分析技術の確立を試みている。

また、災害時の避難や救助活動に関しては、災害対策本部が設置され、災害対応の第一線の責任者である自治体レベルの意思決定が重要な影響を及ぼす。このため、本研究の中でも、このような組織連携の在り方についても議論している。

最終的には、これらの各研究成果を踏まえて、総合的な社会レジリエンスの評価を行う予定である。特に、リスク評価指標に基づいて地域社会の特徴を考慮した防災計画を定量的に評価し、大規模災害に対する危機管理の高度化対策を考えていきたいと考えている。

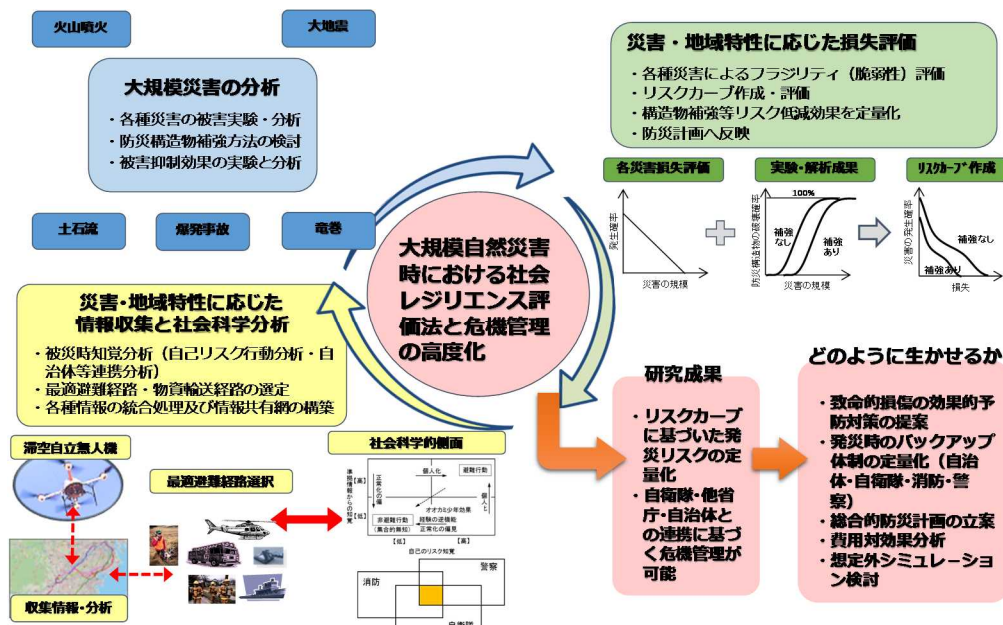


図1 研究の概要

*¹防衛大学校システム工学群 建設環境工学科*²防衛大学校電気情報学群 情報工学科*³防衛大学校人文社会科学群 公共政策学科*⁴防衛大学校システム工学群 機械工学科

次世代データリンク高速・高信頼化技術の研究

○前田一嘉*、上谷俊郎*、木村和仙*

1. 背景及び目的

ネットワーク中心の戦い(NCW: Network Centric Warfare)における我の能力の向上を図るためには、陸海空自衛隊の統合運用においてデータ通信の高速・高信頼化及び情報の共有が不可欠であるため、次世代データリンク高速・高信頼化技術の研究では、帯域分散多重化技術、高信頼適応通信技術及びデータ共有化技術の研究を行っている。

2. 研究内容

(1)帯域分散多重化技術

図1に帯域分散多重化技術の概要を示す。現状での1つの周波数を使用した通信では高速化は困難であるが、帯域分散多重化通信では複数の周波数を束ねて使用することにより、高速通信が可能となる。本研究ではVHF帯2波、UHF帯4波の合計6波同時送受信可能な無線機を試作した。

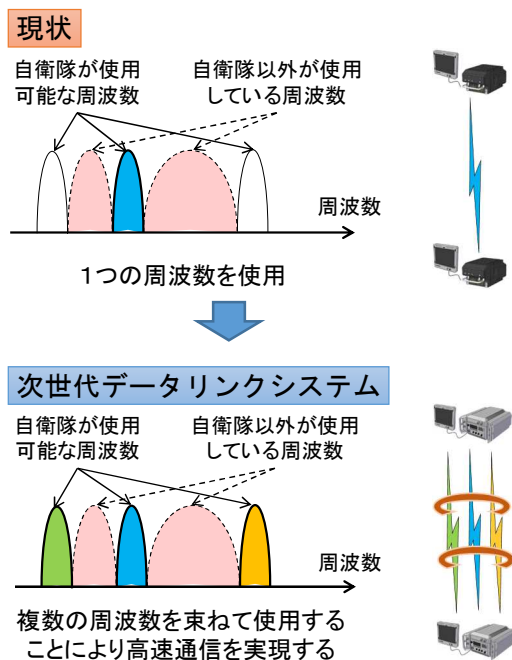


図1 帯域分散多重化技術

(2)高信頼適応通信技術

図2に高信頼適応通信技術の概要を示す。現状での1つの周波数を使用した通信では、その周波数に妨害を受けると通信が不可能になるが、高信頼適応通信では複数の周波数で同じ情報を送ることにより、対妨害性能の向上が可能となる。これにより、特定の周波数に妨害を受けたとしても、どれか1つの周波数が通じていれば通信が可能となる。

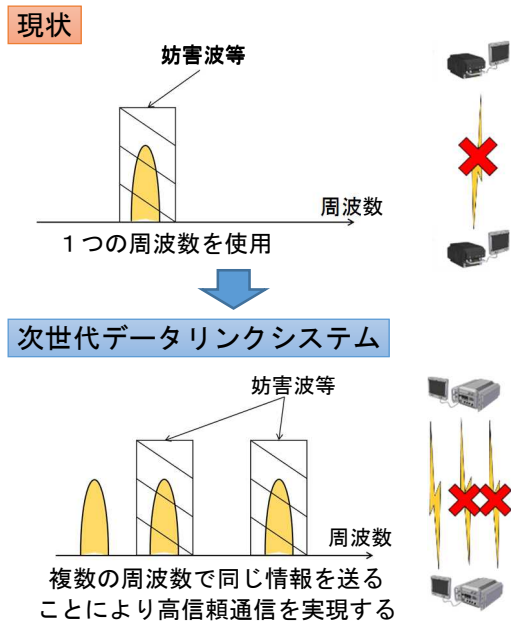


図2 高信頼適応通信技術

(3)データ共有化技術

陸海空自衛隊の既存のデータリンクシステムを活用しつつ、次世代データリンクシステムをゲートウェイとして、「自衛隊デジタル通信システム」、「野外通信システム」及び「LINK-16」の各メッセージを共通メッセージフォーマットに変換することで、既存データリンクシステム間の情報共有が実現可能な設計とした。

3. まとめ

今後は帯域分散多重化技術、高信頼適応通信技術、及びデータ共有化技術について、次世代データリンクシステムの機能・性能を確認する予定である。

*電子装備研究所情報通信研究部 指揮通信システム研究室

サイバー攻撃対処技術に関する研究

○加賀智也*、中村武憲*、奥本有樹*、城間晴輝*、増田裕貴*、石丸光宏*、小森旭*、亀田健一*、手島哲郎*

1. 背景及び目的

防衛省・自衛隊では、システム及びネットワークを利用し、指揮統制及び情報共有を図ることにより任務を確実に遂行している。しかしながら、サイバー攻撃等が発生することにより、システム及びネットワークに影響が生じた場合、効果的な指揮統制及び情報共有が妨げられ、任務を確実に遂行することが困難となる。このため、サイバー攻撃等が発生した場合においても、迅速な状況把握・対処を行うことにより、防衛省・自衛隊の作戦・指揮に必要となるシステムの運用継続とサイバー攻撃の被害拡大防止を実現することが求められている。

運用継続と被害拡大防止を両立する迅速な対処を実施するためには、「サイバー攻撃に対する隊員の判断対処の練度向上」と「サイバー攻撃発生後に運用可能な状態に回復する能力の構築」が必要となる。

本発表では、上記を実現するために取り組んでいる2つの研究について紹介する。

2. サイバー演習環境構築技術の研究

「サイバー攻撃に対する隊員の判断対処の練度向上」に資するため、平成25年度から29年度にかけて基地等で高速なネットワークを用いて固定的に使用されている固定系システムを対象としたサイバー演習環境構築技術の研究を実施した。

平成30年度からは、固定系と比較して低速な無線ネットワークで構成され、野外で運用する移動系システムを対象とした移動系サイバー演習環境構築技術の研究を実施している。

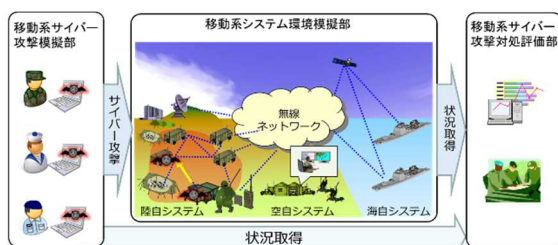


図1 移動系サイバー演習環境構築技術の研究

効果的なサイバー演習を実施するためには、実際に業務で使用しているシステムと同等な環境

において、隊員のスキルに応じた柔軟な演習シナリオ等を実現する必要があるため、移動系サイバー演習環境構築技術の研究ではネットワーク速度等に制約のある環境で、サイバー攻撃状況の再現、制御や情報収集等を実現するための技術について検討していく予定である。

3. サイバーレジリエンス技術の研究

「サイバー攻撃発生後に運用可能な状態に回復する能力の構築」に資するため、平成29年度から、サイバー攻撃発生時等に、重要システムの運用継続と被害拡大防止を実現するためのサイバーレジリエンス技術の研究を実施している。本研究は、サイバー攻撃等により重要システムに被害を受けた場合でも、システムとネットワークを動的に制御することにより、重要システムの運用継続と被害拡大防止を両立するためのものである。

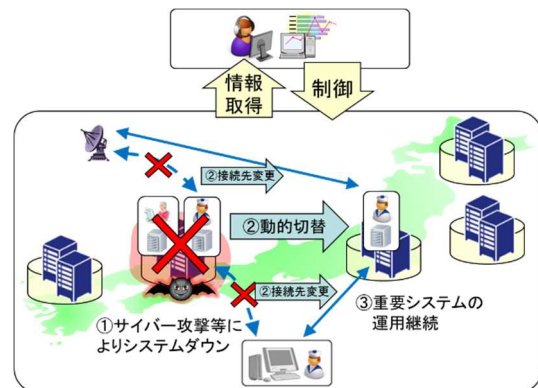


図2 サイバーレジリエンス技術の研究

防衛省・自衛隊においては、各種状況等に応じて重要システムの変更が発生し、また、複数拠点やネットワークがサイバー攻撃等の被害を受けた場合にも運用継続可能な制御を行う必要があり、このような状況に応じ迅速なシステム、ネットワーク制御ができることが重要である。本研究では各種状況等の変化に応じて運用継続に必要なシステム、ネットワークの制御を行う方式及びサイバー攻撃等により制御を行う装置に損傷が発生した場合においても制御機能を維持する方式等について現在設計を進めている。

*電子装備研究所情報通信研究部 サイバーセキュリティ研究室

無人機等による警戒監視の自動化のための機械学習の応用

○濱野健二^{*1}、佐野裕香^{*1}、平進太郎^{*1}

1. 背景

広大な領域を常続的に警戒監視するシステムの実現に当たっては、合成開口レーダ(SAR)は全天候型であり日中も夜間も運用可能であることから、警戒監視への活用の期待が高い。しかし、SAR画像に映写された目標の形状は不明瞭であり、判読のための時間と訓練が負担となる。また、無人機等に目標捕捉のための障害物回避の方法やルート設定等を逐一記憶させるのには労力的な限界がある。そこで、SAR画像からの目標類別を自動化するための深層学習の応用や、無人機等が様々な環境の中で適切に行動する方法を自動的に獲得するための強化学習の応用に関する研究を行っている。

2. 合成開口レーダ画像からの目標類別

SAR画像の目標類別に深層学習を応用する。深層学習の畳み込みニューラルネットワークの学習に、米空軍の公開データセットMSTAR(Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition)¹⁾を用いた。この中に、10車種のSAR画像(画像例を図1に示す)がある。俯角17度及び15度で車両を約1度刻みで全周から映写した128(px)×128(px)のSAR画像をそれぞれ学習用、検証用データとして使用した。学習用データは計2747枚、検証用データは計3203枚である。

実験結果により、深層学習は人間の目では分かりにくい対象物の特徴をSAR画像から上手に抽出して、平均約95%という高い正解率で目標類別を行えることを確認できた。また、MSTARには、3車種に限定されるものの、俯角30度のデータも1114枚含まれているおり、15度と17度のデータを学習に用いることにより平均で約95%の正解率が達成できた²⁾。

図1 SAR画像(左)と参考可視画像(右)¹⁾

3. シミュレーションによる強化学習モデルの検証

エージェントによる移動目標の捕捉に強化学習の仕組みを応用し、その学習効果を検証する。強化学習とは、エージェントが環境の中で行動することにより、最適な行動方針を学習していくものである。本研究の強化学習は、ニューラルネットワークのアルゴリズムを使って実現した。

エージェントが二次元上を移動する目標を捕捉するシミュレーションを行った(図2参照)。図中の大きな丸はエージェント、小さな丸は目標である。シミュレーションは障害物を追加したケースも行った。エージェントは移動目標を捕捉することにより報酬を獲得する。学習を安定させ、報酬を確実に向上させるため、強化学習にTRPO(Trust Region Policy Optimization)³⁾の手法を適用した。この結果、障害物を追加した場合でも、約30000回の試行で学習が収束することを確認することができた。

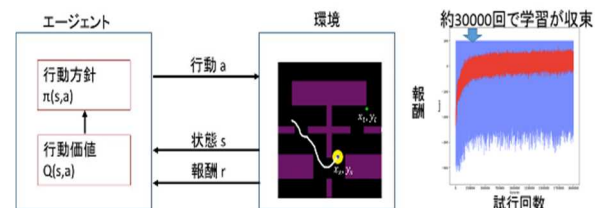


図2 シミュレーションモデルと結果

4. まとめ

SAR画像による目標類別と移動目標の捕捉に関する研究結果を示した。これらの成果をもとに、警戒監視の自動化の実現に向けて着実に研究を進展させる必要がある。

参考文献

- 1) U.S. Air Force. MSTAR Overview.
<https://www.sdms.afml.af.mil/index.php?collection=mstar>
- 2) K. Hamano et al., "Target Classification of MSTAR SAR Images Taken From 30° Depression Angle Using Deep Learning," ACDT 2017.
- 3) J. Schulman et al., "Trust Region Policy Optimization," ICML 2015.

^{*1}電子装備研究所情報通信研究部サイバー情報研究室

哨戒機のためのレーザ海面波高潮流計測技術

○岸祐太*、前田真吾*、岩佐まもる*、工藤順一*

1. 研究の背景及び目的

現在、ヘリコプターが洋上でホバリング中に吊り下げ型ソーナーやホイストを運用する際に、波浪や潮流によりソーナーやホイストが引っ張られても飛行の安全を確保するため、電波を用いたドップラー航法装置(以下「レーダ DNS」という。)を用いて波高・潮流計測を行っている。しかし、電波を用いる従来のレーダ DNS は技術的な旧式化や電波を用いることによる誤差やクラッタノイズが大きいという欠点を有していた。

本研究では、電波の代わりに近赤外レーザを用いる航法装置(以下「レーザ DNS」という。)により、レーダ DNS と比較して格段に分解能と精度を向上できる可能性に着目した。

2. ドップラーライダの原理と応用

レーダ DNS は、上空から海面に電波を発して波浪や潮流からの反射波に含まれるドップラー信号を解析しておおよその波高や潮流を計測しているが、レーザ DNS は電波の代わりに近赤外レーザを波浪に照射することにより、波高の変化や潮流に応じた周波数(波長)の変化を計測する。すなわち、近づく波からの散乱光は、周波数が高くなり、遠ざかる波からの散乱光は周波数が低くなるといった具合に、散乱源の速度による周波数変動(ドップラーシフト)を検出することで、波高の変化や潮流を算出することができると見込まれる。

3. 実験の概要

前項で述べたレーザ DNS の実現に向けて、本研究では、海面の波高・潮流計測の原理検証のための基礎データを取得した。

近赤外レーザを照射してドップラーシフトを検出するためのドップラーライダ装置を用いて、艦艇装備研究所の屋内にある大水槽において定量的かつ再現性のある波や流速を発生させ、波高計等により水面の状況を別途取得しながら、波高の変化する速度を計測した。

図1に波高変化速度計測時の装置配置を示す。大水槽に架かる2つの台車の上にドップラーライダ装置とミラーを設置して波を発生させた状態の水面にレーザを照射し、波高の変化する速度を計測できることを確認した。

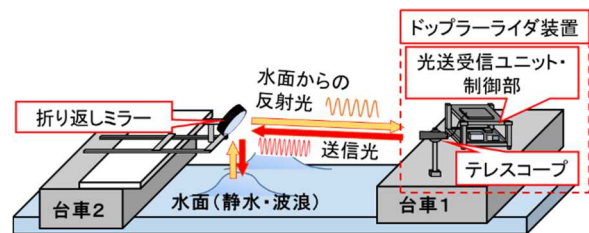


図1 波高変化速度計測時の装置配置

4. まとめ

実験室環境下において、ドップラーライダ装置を用いて、水面反射光から波高の変化する速度が計測できることを確認した。

加えて、レーザ光が水面で散乱される環境を想定し、水面の流速を計測する実験も行った。図2に流速計測時の装置配置を示す。台車にドップラーライダ装置を設置し、台車を移動させて相対的に潮流を模擬しつつ、水面に斜入射するようレーザを照射し、流速が計測できるか確認し、結果を解析中である。

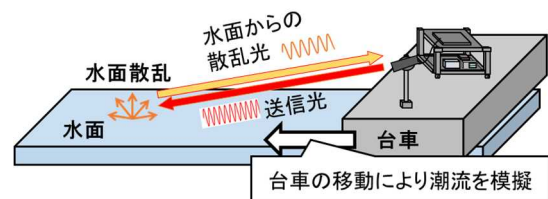


図2 流速計測時の装置配置

今後は、実際の海上において、ランダムな波高・潮流が計測できることを確認する予定である。

将来の成果次第では、ソーナーやホイストの運用、救難飛行艇の離着水候補箇所選定などの状況における安全性の向上が期待される。

また、当該研究成果をベースとして、海中透過率が近赤外レーザと比較して高い可視光レーザ光源を用いることで、計測範囲を海面から海中にまで拡大し、潜水艦の静粛化・高性能化及び行動海域の拡大といった脅威に対する哨戒機等の対潜能力の優位性を確保することが期待されるレーザセンシング哨戒技術の確立を目指していきたいと考えている。

*電子装備研究所センサ研究部 光波センサ研究室

プラズマステルスアンテナ技術の研究

○吉積義隆*、高萩和宏*、西岡俊治*

1. 背景

近年、戦闘機やミサイル等による脅威を低減し、早期対処を可能とするために、我が国の戦闘機等をステルス化する必要性が高まっている。

ステルス化の手法には、大きく分けて到来電波の反射方向を局限する形状ステルス及び反射量を減らす材料ステルスがあり、装備品の形状や適用箇所等に応じて対策する必要がある。しかし、装備品のアンテナは、電波を放射する特性上、形状の工夫や電波吸収体等の材料適用が困難であるため、例えば、従来の戦闘機等において、機外に突出する形で設置される通信用アンテナについて、近年ではそれらを機体に埋め込むことにより、ステルス化が図られている。他方で、構造や制御の煩雑化が課題となっている。

そこで本発表では、従来のアンテナ形状のままにステルス性を得るプラズマステルスアンテナ技術¹⁾について、検討を行った結果を報告する。

2. 目的

本研究では、航空機のアンテナのステルス化に向け、電気的な制御による物性の変更が可能であるプラズマの特性を利用して仮作したプラズマステルスアンテナについて、通信用アンテナとしての動作及び到来レーダ波に対する反射量低減に関する検討を行うことを目的とする。

3. プラズマステルスアンテナのステルス動作

本研究で仮作したプラズマステルスアンテナは、アルゴンと水銀の混合ガスを封入したガラス管等からなる放電管、プラズマ励起用高圧電源及びRF信号印加部からなる回路により構成され、図1に示すように、放電管内にプラズマを発生させるON状態及びプラズマを消失させたOFF状態を交互に切り替えて使用する。アンテナの形状としては、水平面内において無指向のブレード型を採用している。

プラズマステルスアンテナをON状態にしてRF信号を印加すると、放電管がアンテナとして動作し、通信波が送信され、到来した通信波の受信も可能となる。逆にOFF状態にすると、放電管部分は単純な誘電体となるためアンテナとして動作せず、通信波の送受信はなされない。

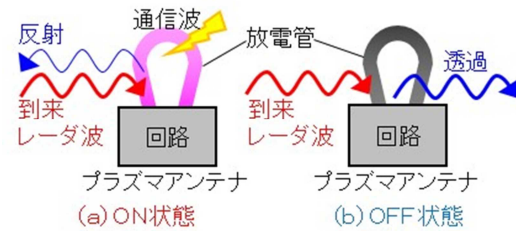


図1 プラズマステルスアンテナの動作状態

一方、到来レーダ波の反射の観点から見ると、ON状態では反射が生じうるが、OFF状態では透過してしまうため反射が低減される。すなわち、通信波を送受信する場面ではON状態とし従来のアンテナと同様に使用するが、自機のステルス性確保を要する場面においては、OFF状態とすることで我が国の被探知確率を低減することが可能となる。

4. 測定結果

平成29年度に仮作したプラズマステルスアンテナについて、ON状態及びOFF状態のRCS（レーダ反射断面積）の計測結果について金属アンテナの計測結果とともに図2に示す。本結果より、OFF状態におけるプラズマステルスアンテナの到来レーダ波に対する反射量低減効果が確認された。

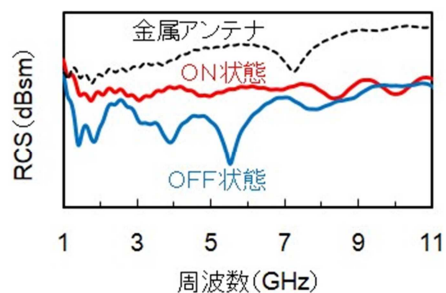


図2 RCSの測定結果

参考文献

- 1) K. Takahagi et al., "Study on Radar Cross Section for the Plasma Antenna in UHF Band", Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference 2014, pp. 974-976, November 2014.

*電子装備研究所電子対処研究部 センサ妨害研究室

広域津波漂流物シミュレーションによる漂流物衝突力の推定

○沖 良篤*

1. はじめに

東日本大震災等の津波災害では、建物の破壊等に伴う大量の瓦礫、車両、船舶等が漂流物として流出し、市街地だけでなく、自衛隊施設にも甚大な被害を与えた。したがって、今後は津波浸水対策だけでなく、自衛隊施設も含めた周辺の市街地から流入する大小様々な漂流物の衝突の影響も考慮した被害推定ツールの整備が必要不可欠である。

そこで、自衛隊施設における津波漂流物対策を検討するために、久里浜地区を対象とした213個の建物群から構成される広域市街地沿岸モデル(図1)を設定して、CFD(Computational Fluid Dynamics)技術に基づく広域津波漂流物シミュレーションを実行した。この際、評価対象の建物に加わる波力とともに、周辺の市街地から流入する破壊されて流出した建物の他に、複数種類の漂流物(車両、船舶、コンテナ類、合計176個)の衝突力も推定した。

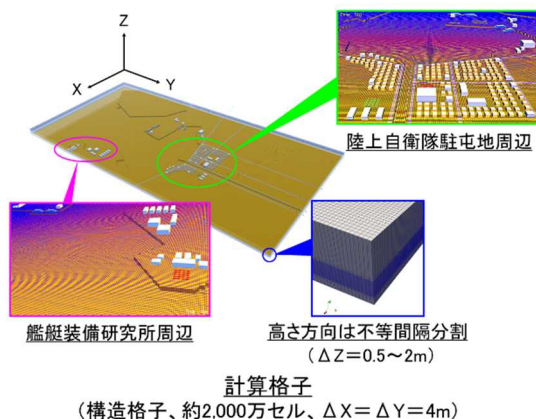


図1 広域市街地沿岸モデル

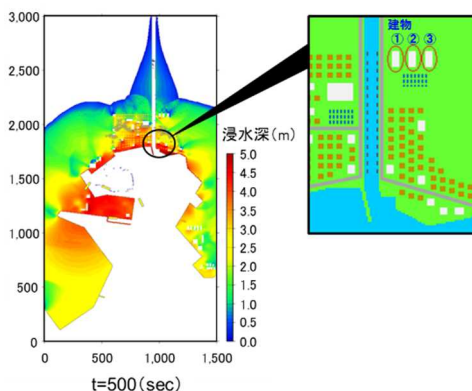


図2 浸水深及び漂流物分布 (t=500sec)

2. 研究内容

本研究では、STOC¹⁾の津波シミュレータ (T-STOC) を用いて、大規模並列計算により広域津波漂流物シミュレーションを実行した (FOCUS スパコン、最大 98 コア使用)。ただし、計算領域は外域(静水圧)で 4km×8km、内域(非静水圧)で 1.5km×3km とし、計算は時間刻み幅 0.01sec、標高 2m(一定)、津波入射波高 6m(正弦波)、水深 4~25m、現象再現時間 1,800sec で実行した。

図2の浸水深及び漂流物分布 (t=500sec) の結果より、河川に沿った陸地遡上津波に伴う漂流物の流出・衝突によって、市街地の被害が拡大することが確認できた。また、最大浸水深は艦艇装備研究所で 4.33m、陸上自衛隊駐屯地で 4.12m となり、地形データを考慮していないため、特に内陸側で過大に推定するものと考えられる。

図3に建物①に加わる波力と漂流物衝突力の経時変化を示す。t=500~550sec の間で波力と漂流物衝突力はともに最大値を示し、漂流物衝突力は力積(N・sec)であり、衝突時間(0.1~0.01sec)で換算すると、波力と同等以上に建物に対して重大な影響を及ぼすことが推定される。特に、大量の漂流物が発生する市街地に隣接する自衛隊施設では、その影響は無視できないものと言える。

3. おわりに

今後は、更に計算規模を拡大するとともに、津波波源モデル(初期水位分布)及び地形データ(海底を含む。)を考慮して、より実用的な大規模シミュレーションを実行する予定である。

参考文献

- 1) 富田・本多・千田, “高潮津波シミュレータ (STOC) による津波被害解析手法”, 港湾空港技術研究所報告 Vol.55, No.2, 3-33, 2016.

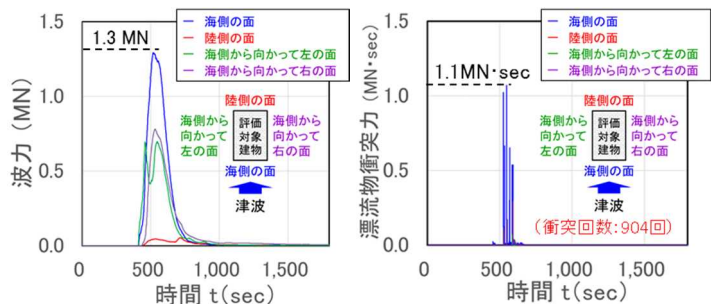


図3 波力と漂流物衝突力の経時変化 (建物①)

* 先進技術推進センター研究管理官(M&S・先進技術担当)付 M&S 要素技術推進室

化学剤及び生物剤の汚染状況を把握する将来的な手段としての光コム分光

○明野優也^{*1}、伊奈伸一郎^{*1}

1. 背景

化学剤や生物剤(有害な化学物質や微生物、ウイルスなど)が大気中に散布されて汚染が発生した場合には、何が散布されたのかを速やかに特定し、時々刻々と変化する汚染状況を把握することが、じ後の大気拡散予測等を含む対処の上で有用である。そのためには、現用のセンサよりも短時間で測定結果の取得及び連続的な測定ができることが望まれる。そこで、比較的短時間で測定が可能であり、基本的にサンプルの前処理や消耗品を必要としないといった特徴を有する光学的な手法、中でも精度等の観点から将来的に有望であると考えられる光周波数コム(以下、「光コム」という。)分光に着目し、文献調査、検討を行った。

2. 光コム分光

光コムはレーザーの一種であり、コム(comb、「櫛」の意味)という名のとおり、幅広い帯域の周波数成分が櫛の歯のように等間隔で含まれている。櫛の歯の間隔がわずかに異なる2つの光コムを利用するデュアルコム分光(赤外吸収分光の一種)及びデュアルコム CARS(Coherent Anti-stokes Raman Scattering、ラマン散乱分光の一種)は、高精度と高速測定が両立できるものとして注目されている。

デュアルコム分光は、光コムの各周波数成分が試料によってどの程度吸収されたのかを調べることで吸収スペクトルを得るものである。国内外の研究によってガスセル内及び大気中の気体分子に対して有用性が示されている(1,2)ことから、気体状の化学剤の検知に適用できると考えられる。

一方、デュアルコム CARS は、非線形ラマン散乱である CARS を測定し、ラマンスペクトルを得るものである。非線形ラマン散乱自体は光コム特有の現象ではないが、デュアルコムを用いることで、広帯域のラマンスペクトルを従来の 1000 倍以上高速に取得できることが示されている(3)。CARS は、固形や液状の試料に対して有用であるとともに、微生物の同定に対しても利用可能であると考えられる。ただし、デュアルコム CARS が微生物の同定に対してどれほど有用であるかは未知であるため、実際に検証する必要がある。

3. 将来構想と課題

光コム分光を適用する将来的な汚染状況を把握する手段として、例えば以下のようなものが考えられる。

- ① アクティブ型センサとして、現場検知あるいは遠隔検知により、吸収スペクトルから大気中の化学剤の種類と濃度をリアルタイムでモニタリングするもの
- ② 高速測定の特徴を活かして、個々のエアロゾルのラマンスペクトルを測定し、大気中の生物剤をリアルタイムでモニタリングするもの

汚染発生後速やかにその状況を把握するには、脅威が想定されるエリアに定点観測的にあらかじめ設置する、ドローンなどによって搬送、走査すること等が考えられる。いずれの場合にせよ、小型軽量化、低コスト化が課題となるが、1 mm 以下のサイズの微小光共振器により光コムを発生させる技術の研究が現在盛んであるところ(4)、当該課題は今後解決される可能性がある。

このように、光コムの技術の進展はめざましく、民生での開発が進むと見込まれることから、引き続き光コム分光技術に注目し、その利用可能性について追求していく予定である。

参考文献

- (1) Sho Okubo et al., “Ultra-broadband dual-comb spectroscopy across 1.0–1.9μm”, *Appl. Phys. Express*, **8**, 082402 (2015)
- (2) Sean Coburn et al., “Regional trace-gas source attribution using a field-deployed dual frequency comb spectrometer”, *Optica*, **5**, 320-327 (2018)
- (3) Takuro Ideguchi et al., “Coherent Raman spectro-imaging with laser frequency combs”, *nature*, **502**, 355-358 (2013)
- (4) Maxim Karpov et al., “Photonic chip-based soliton frequency combs covering the biological imaging window”, *Nat Commun*, **9**, 1146 (2018)

^{*1}先進技術推進センター研究管理官 (CBRN 対処技術担当) 付 CBRN 対処システム技術推進室

高機動パワードスーツの研究

○村上卓弥*、小林一穂*、松沢純平*、山田隆基*、南亜樹*

1. 背景・目的

パワードスーツ技術は、民生分野においても、主に医療・介護分野での研究開発が進められているが、高齢者の支援、脳卒中、脊髄損傷等のリハビリ等に重点がおかれ、アシストされる動作は平地での歩行等に限られる場合が多い。

一方、防衛用のパワードスーツには、災害派遣等の任務において隊員が装着・携行している装備品の重量を支持することに加え、歩行だけでなく駆け足のような素早い動作を可能とし、砂地や山岳地等の不整地にも対応する必要がある。このため、民生分野と比較し、高機動化が求められ、各アクチュエータの大出力化、高応答化等が必要となる。

そこで、先進技術推進センターでは、平成27年度から、隊員の重量負担を軽減しつつ、迅速機敏な行動を確保可能な「高機動パワードスーツ」の研究を行ってきた。平成29年度末に完成した試作品を用い、試験評価と改良のスパイラルを短期間で繰り返すことで、早期実用化を目指しているところである。

2. 研究内容

重量を支持しながら、素早い動作を行うためには、外骨格構造により重量負担を受け持ちつつ、人間の動作に追従する機構を備える下肢の働きが重要となるため、本研究では、下肢用のパワードスーツの試作を行った。試作の中では、プロトタイプ的设计・製造と試験評価を短期間で繰り返し、試験データ、装着者(隊員)の意見等をパワードスーツの設計に随時反映することで、スパイラル的な試作を行った。

また、自衛隊では厳しい環境下での激しい行動が求められる場合もあることから、パワードスーツ自体の安全性に加え及び想定される使用状況における装着者の安全性を確保するため、リスクアセスメントによる危険源分析に基づいた保護対策を行った。研究の各段階において受容不可能なリスクが存在しないようリスク管理を継続し、安全性を確保した。

上記のような方針で設計を深化させ、試作品を平成29年度末に完成させた。

本年度から、この試作品を用いて高機動パワードスーツを着用した隊員に対する性能評価

を実施している。現在までに、実験室環境で、三次元動作解析装置、床反力計付トレッドミル等の器材を用いて、図2に示すような動作解析を実施し、高機動パワードスーツの基本性能等について評価を実施した。

3. 今後の予定

今後は、野外における検証試験を演習場等で実施し、模擬運用環境における課題の抽出を行い、改良と試験評価の繰り返しにより早期実用化を達成する所存である。



図1 高機動パワードスーツを装着した際の外観

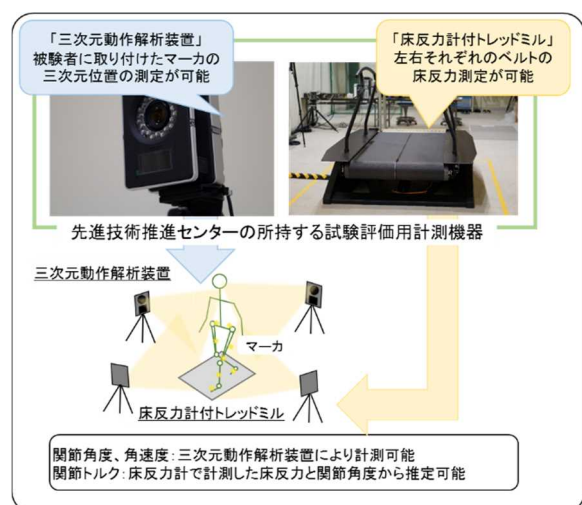


図2 動作解析の手法

*先進技術推進センター研究管理官(ヒューマン・ロボット融合技術担当)付 ヒューマン・ロボット融合システム技術推進室

過酷環境下における身体的、認知的負担の計測・評価技術の研究

○西修二^{*1}、○相羽裕子^{*1}、三井尚之^{*1}

1. 緒論

過酷な環境下において、周囲の状況を認識し、最適な行動を判断し、装備品等を操作する必要がある自衛隊員を防護・支援するには、当該状況下での身体的な負担の低減とともに、状況の認識、行動の判断等の認知的負担の低減等が必要となる。図のように、これらの実現には装備品等による負担低減に関する防護・支援技術だけではなく、負担低減の効果を計測・評価するための技術の向上が必要である。

防衛装備庁先進技術推進センターでは、身体負担の計測・評価技術として、特に厳しい加速度環境、低圧環境に曝される戦闘機パイロットの生理情報を取得する技術及び認知的負担の計測・評価技術として、脳活動の情報により客観的・定量的に評価する技術の向上について検討を進めてきた。

2. 戦闘機パイロットの生理情報取得技術

戦闘機パイロットは、加速度による脳への血流不足による意識喪失、低圧による酸素分圧低下に伴う低酸素症や減圧症が発生し得る環境において任務を遂行する必要がある。これらの症状への対策として、耐 G 服による脳への血流の維持、高濃度酸素吸入による血中酸素飽和度の維持が実施されているが、対策の効果を検証するためには、脳血流と血中酸素飽和度を実際の状況下で計測評価する必要がある。そこで、従来の心電図等の計測手法及び近赤外光等による血中酸素飽和度の測定に加えて、インピーダンス法による血流量計測を可能なシステムを仮作した。

本システムを使用して、航空自衛隊航空医学実験隊と共同で加速度及び低圧負荷中のデータ

を取得しており、加速度負荷に伴う頭部への血流の減少や、血中酸素飽和度の低下を測定することができた。現在は、耐 G 服作動による効果を解析中であり、今後は、航空自衛隊飛行開発実験団の協力を得て、飛行中の生理情報取得を予定している。

3. 隊員の認知的負担の推定技術

複雑、多量の情報を処理する必要がある環境において、認知的負担を評価する方法として、主観評価、行動指標が一般的に用いられるが、近年、生理指標を用いたリアルタイム評価手法が着目されている。特に、脳機能イメージング技術は、ウェアラブル技術、機械学習技術の適用により、客観的かつリアルタイムに人間の認知活動を定量評価するべく大きな進歩を見せている。

現在、我々は、防衛医科大学校及び航空医学実験隊と協力し、脳活動計測手法として脳波及び近赤外分光法を用いた認知的負担の検討を実施している。負荷の程度を制御可能なタスク遂行中の脳活動データから、認知的負担を推定するための「ものさし」を作成し、複雑なマルチタスクを実施中の認知的負担を評価したところ、主観、行動指標に加え、より詳細な認知的負担の特徴を把握し得ると考えられた。今後は、仮想現実技術を利用することにより、様々な情報環境における認知的負担を推定する手法を検討する予定である。

4. まとめ

過酷な環境において複雑な情報処理・判断が求められる隊員の能力発揮を支援するための装備品開発評価に必要となる、身体的及び認知的負担計測・評価技術の向上についての検討を進めて行く予定である。

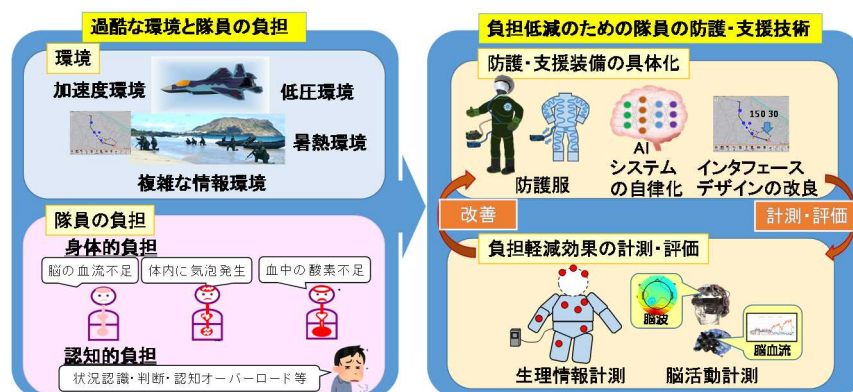


図 過酷環境下における隊員の防護・支援技術と評価

^{*1}先進技術推進センター研究管理官(ヒューマン・ロボット融合技術担当)付 人間工学技術推進室



防衛装備庁