

艦船推進システムにおける耐衝撃性設計の簡易的手法に関する研究

○寺澤信逸*

1. 背景

護衛艦、潜水艦及び掃海艦艇等には、ミサイル、砲弾及び魚雷等による被弾又は機雷等による近接爆発での衝撃に対して、継戦・帰投能力の維持が必要とされている。

特に魚雷、機雷等の水中爆発では、衝撃的外力によるホッピング及び爆薬の生成ガスからなるバブルジェットによる強い船体振動が発生するため耐衝撃対策を行う必要がある。

諸外国では構成品(機器単位)に直接衝撃を与える衝撃試験及びショックトライアル(実際の艦船を使用しての水中爆発試験)を実施し、艦の設計にフィードバックして所要の耐衝撃性を確保している。しかし、膨大な時間と多大な費用を要しており、これを削減するため現在ではモデリング&シミュレーションツールを用いた解析をもって衝撃試験に置き換えるよう研究が進められている。

我が国もショックトライアル(図1参照)などの実験的評価や数値解析を進めているが、従来の数値解析は複雑で多大な時間とコストを要するため、簡易的な数値解析手法が開発されれば、短時間で低コストな耐衝撃検討を数多く進めることができ、初期設計におけるメリットは大きい。



図1 我が国の護衛艦によるショックトライアルの様子

2. 研究の目的

本研究の目的は、推進システムに係る機器の耐衝撃に関する数値解析手法として、艦船の初期設計段階で実施可能であり、かつ十分な精度を有した簡易シミュレーションを開発することである。

3. 簡易的な検討手法を実現する技術

理論及び様々な計算結果から、衝撃荷重の周期が構造体の固有周期よりも長い場合には、衝撃緩和マウント(衝撃吸収材)に搭載された機器の耐衝撃性評価に対して、静解析が適用できることが明らかになった。この技術は動的シミュレーションを静解析で近似することに基づいており、動的シミュレーションと比較すると格段の簡易化を実現する。

4. 本手法による効果

図2に衝撃緩和マウントにおける動解析と静解析の比較を示す。両者の脚部に加わる荷重分布は定量的にはほぼ一致している。それは、構造体(機器)の固有周期が衝撃緩和マウントにより長くなったため、静解析と動解析の結果がほぼ一致することを示している。このように予測される衝撃荷重に対し適切な衝撃緩和マウントの選定を行えば本手法により構造体の耐衝撃性評価が可能となる。

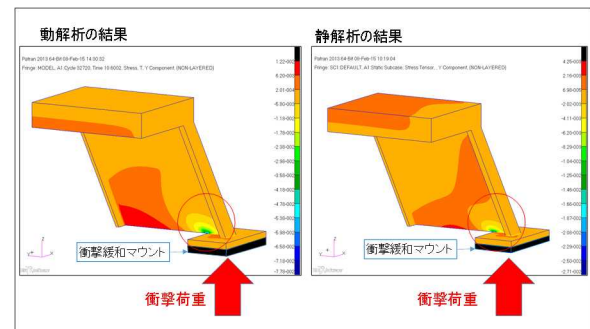


図2 衝撃緩和マウントにおける動解析と静解析の比較

5. まとめ

単純な構造体(機器)を用いて実証試験を行った結果ではあるが、適切な衝撃緩和マウント(衝撃吸収材)で搭載された機器であれば、簡易シミュレーションでも精度の高い耐衝撃検討が可能である見通しが得られた。今後は、より複雑で質量の大きな機器に対する衝撃緩和マウントの選択要領を追求すると共に、更なる精度向上を図りたい。

*長官官房艦船設計官付第4設計室

艦艇装備研究所の水槽試験における先進的計測技術

○新井淳*、高橋賢士朗*、新元伸*、毛利隆之*

1. 背景

将来の艦艇・水中武器の流体性能向上のためには、水槽試験における試験技術の継続的な発展が不可欠であり、先進的な試験技術の導入及び活用を進めている。艦艇装備研究所では、図1に示すプロペラ等の性能を評価するための大型回流水槽であるフローノイズシミュレータ及び艦艇形状の性能評価のための曳航水槽である大水槽を運用しているが、本発表では、先進的な計測技術の例としてフローノイズシミュレータにおける気泡核計測技術及び大水槽における流場計測技術について紹介する。

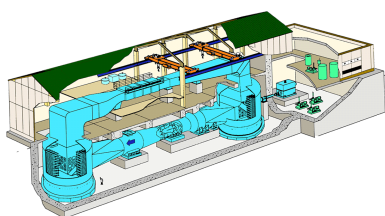


図1 フローノイズシミュレータ(上)、大水槽(下)

2. 目的

プロペラが回転する際には、圧力が低下することによりキャビテーションが発生し、様々な悪影響を与えることがある。この現象を水槽試験で予測するには、あらかじめキャビテーションの核となる気泡核の状態を知ることが重要である¹⁾。そこで、フローノイズシミュレータにおいては、キャビテーション感度計(CSM)による計測を行っている。

一方、艦艇周りの流速をより詳細に把握することは、艦艇の性能向上のために重要である。そこで、大水槽においては、詳細な流場計測が可能な粒子画像流速計(PIV)²⁾の導入を進めている。

3. CSM 装置及び PIV 装置による計測の概要

図2に CSM 装置の概要図を示す。本装置では、フローノイズシミュレータの計測胴に設置された取

水プローブより計測胴内の水の一部をサンプリングし、ベンチュリ部を通過させポンプにより再びフローノイズシミュレータへと循環させる構成となっている。ベンチュリ部を通過する際の流速をポンプの流量により制御することで、ベンチュリ部通過時の圧力を変化させ、減圧時に発生するキャビテーションが崩壊する際の圧力波を捉えることで気泡核数を計測する。

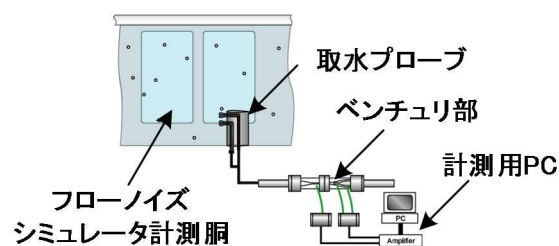


図2 CSM 装置の概要

図3に PIV 装置を用いた供試体模型である水中航走体まわりの流場計測の状況を示す。本装置では、水中に設置された筒状のプローブよりレーザーシート光を模型に照射し、同プローブ内の2台の防水カメラによりステレオ撮影を行うことで、二次元平面内の流速分布を一度に計測する。

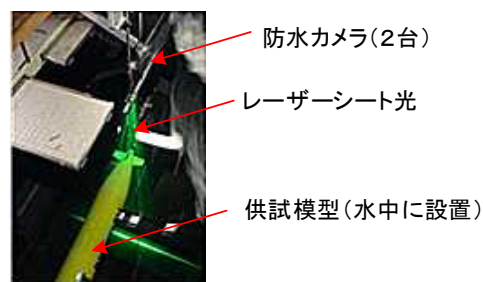


図3 PIV 装置を用いた計測状況

これら計測装置を用いた計測結果については、ポスターセッションにて発表する。

参考文献

- 1) 岸本隆, “気泡核計測装置および気泡核制御装置の調査”, 日本船舶海洋工学会誌, 第17号, 46-47, 2008年3月
- 2) 久米健一, “回流水槽および曳航水槽における同時多点計測技術の調査”, 日本船舶海洋工学会誌, 第4号, 95-98, 2006年1月

水中音響通信ネットワーク

○工藤孝弘*

1. 背景・目的

本研究の目的は、水中音響通信を用いた広範囲なデジタル通信ネットワークを構築し、潜水艦やUUV(Unmanned Underwater Vehicles、水中無人機)、USV(Unmanned Surface Vehicles、水上無人機)の通信能力を向上させることである。具体的には、潜水艦や護衛艦の水中通話器、UUVの遠隔操作等の水中装備品への適用が期待できる技術に係る研究である。図1の運用構想では通信ノードを中継することで水中と水上の情報共有が可能となる様子を示している。今回の発表では、この運用構想を実現するための課題、研究用に製作した試作品、試験結果について紹介する。

電磁波の減衰が大きい水中において、潜水艦やUUVの通信には音波が使用されている。しかし、現状の水中音響通信では多くの製品がアナログ通信であり、通信距離も短い。また、ネットワーク化も実現していない。そこで、本研究ではデジタル化、長距離通信、ネットワーク化の3点を課題とし、試作品を製作した。

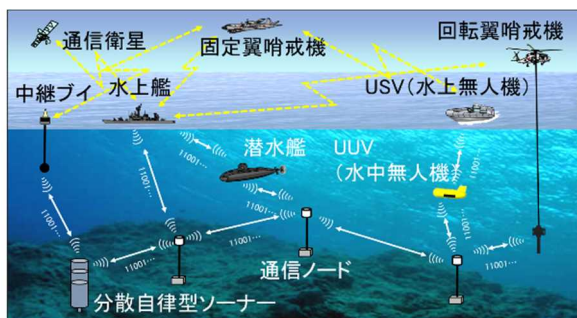


図1 将来の運用構想

2. 試作品の概要

現在、艦艇装備研究所では、水中音響通信を用いた広範囲のデジタル通信ネットワークを実現するため、水中通信装置の試作品(図2)を製作し、試験を実施している。

この水中通信装置は位相変位変調方式を採用したデジタル音響通信装置であり、水平方向の長距離通信において課題となるマルチパス(海面や海底からの邪魔な反射音)及びドップラーシフトを信号処理によって解決している。また、複数台設

置することでネットワークとしても機能するよう設計されている。

1次変調は4種類の位相変位変調方式、2次変調はDS-SS(Direct-Sequence Spread Spectrum、直接シーケンス周波数拡散方式)及びOFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing、直交周波数多重方式)の2種類を採用し、それぞれのビット誤り率を比較することができる。これらの信号処理は既に無線通信の分野で普及している技術を応用することで開発リスクを軽減した。また、マルチパス及びドップラーシフト対策としては、本来送信したいデータの前にトレーニング信号を付加することで、トレーニング信号の変化からマルチパス及びドップラーシフトを検出し、補正することが可能となっている。ネットワーク機能に関しては、消費電力を抑えるためにリアクティブ型のルーティング制御を採用した。



図2 水中通信装置

3. 試験の概要

昨年6月に実施した海上試験では、1対1の近距離通信において1次変調、2次変調等の各信号処理方式のビット誤り率を計測することで、基本的な特性を確認した。また、今年の1月及び6月の海上試験では、長距離通信について評価した。

今後は水中通信装置5台を海底に設置した状態で、ルーティング制御等のネットワーク機能を確認する試験を予定している。

*艦艇装備研究所探知技術研究部 海洋信号処理研究室

静岡県大瀬崎沖で記録された音響データについて

○戸田康永*

1 はじめに

静岡県大瀬崎に所在する艦艇装備研究所大瀬実験所は、水中機器の基礎的研究、研究試作品の性能確認などの目的で使用されている施設である。現在、実験所の沖合約数キロメートルの海底には光音響センサ計測装置のセンサ部が敷設されている。大瀬実験所内には光音響センサ計測装置の復調装置が設置されており、ここで大瀬崎周辺の海中音響信号の記録が可能となっている。

光音響センサ計測装置は海上試験を行う際の受波センサとして使用しているが、周辺海面に生息する海洋生物の発する音や、漁船等の船舶の航走音も受信されている。試験を実施していない夜間に参考データとして記録した海中雑音の中には、ときおり生物音も記録されている。試験所沖に敷設されているセンサは9つの素子で構成されており、8つが低周波対応、残り1つが高周波対応である。これにより低周波から高周波までの音響周波数を用いた海上試験研究に利用が可能である。

2 研究例

大瀬実験所を利用した研究の一例として、船舶の発する航走音を信号処理し、海中音波伝搬の特性を考慮に入れて目標音源までの水平距離を推定する方法に関する研究について紹介する。

海面を航行する船舶から発せられた音は、海底にある受波センサに直接到達する経路以外に、海底で反射した後に海面で反射されて到達する経路などを伝搬する(図1参照)。

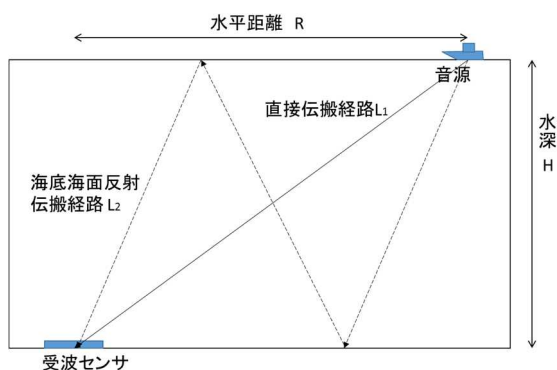


図1 音波伝搬経路例

各経路を伝搬する時間の差は水平距離と関係があるため、受信した音響信号を自己相関処理して時間差を算出することで、受波センサと音源の間の水平距離の推定ができる。

実施した試験内容を次に示す。敷設された受波センサ周辺海面を船舶（動力はディーゼルエンジン）が航走し、その際に航走雑音を受波センサで受信して記録する。試験中の船舶位置については船舶に搭載した GPS 装置により 1 秒毎の緯度経度情報を記録する。GPS データから求められる水平距離から経路間伝搬時間差が算出され、航走雑音データの信号処理結果から推定される経路間伝搬時間差と比較することで推定方法の妥当性を検討する。

航走雑音の信号処理結果に重ねて、GPS 記録データから求めた経路間伝搬時間差（算出結果）を紫で示している(図2参照)。横軸は経路間伝搬時間差(ミリ秒)、縦軸は経過時間(秒)を示している。

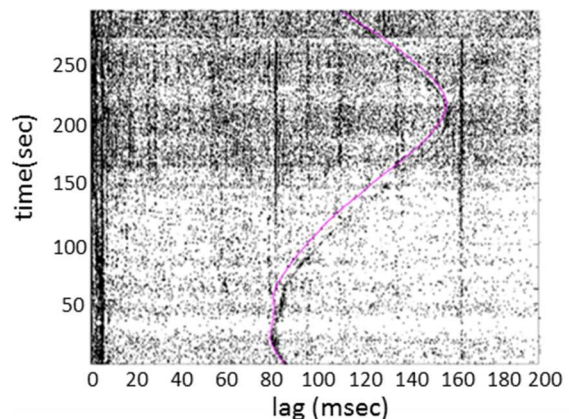


図2 信号処理結果と算出結果の比較

信号処理結果の濃淡は自己相関値の高低を表し、相関値の高い黒色の軌跡が経路間伝搬時間差の時間変化を示している。紫色の線とよく一致しており、推定方法の妥当性を確認した。

3 おわりに

大瀬実験所は昭和40年に開設され、今日まで数多くの水中機器研究のフィールド試験設備として利用されてきている。今後とも大瀬実験所を活用して研究を推進していきたいと考えている。

*艦艇装備研究所探知技術研究部 信号制御研究室

ウェポン内装化空力技術の研究

○菊本浩介*、能登一雄*、高尾進矢*、宇田川直彦*

1. 背景及び目的

ウェポン内装化空力技術の研究(以下、「本研究」という。)は、将来の戦闘機等に不可欠なステルス性確保のため機体内部へのウェポン搭載に際し、遷／超音速での安全なウェポン分離のために、図1に示すような複雑な流れ場を解明するものであり、流れ場の数値流体力学(CFD:Computational Fluid Dynamics)による解析を行うキャビティ流解析ツール、風洞試験に用いる標準母機模型であるキャビティ模型及び航空機等からの各種搭載物の分離軌跡を取得する分離特性評価システム(CTS装置(Captive Trajectory System))の設計・製作及びその試験からなっている。

本研究では、平成22年度～26年度の研究試作で各試作品を設計・製作し、平成26年度～27年度にそれらの性能確認試験を実施した。

本発表では、特にその性能確認試験の成果について取り上げる。

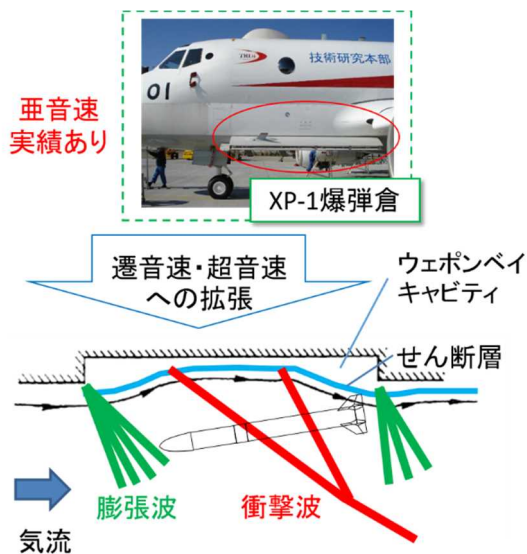


図1 内装ウェポンベイからのウェポン分離

2. 性能確認試験の成果

1) CFD 解析

キャビティ流解析ツールを用いて、マッハ数範囲 $M=0.3 \sim 2.5$ で複雑形状に適用(搭載物支持部まで模擬)した CFD 解析を行い、風洞試験結果と比較し、搭載物とキャビティ等を含む流れ場解析

が可能であることを確認した。

2) 風洞試験

キャビティ模型及び既存の三音速風洞装置と接続して動作する CTS 装置を用いて図2に示すような風洞試験を実施し、内装ベイからの搭載物の分離軌跡を取得することで、内装ベイ等からの搭載物への影響を把握した。

また、外装された既存搭載物の分離軌跡が取得できることを確認するため、既存母機模型、空対空誘導弾(AAM)搭載物模型及び CTS 装置を用いた風洞試験もあわせて実施し、実発射試験で得られた誘導弾の軌跡と比較した。

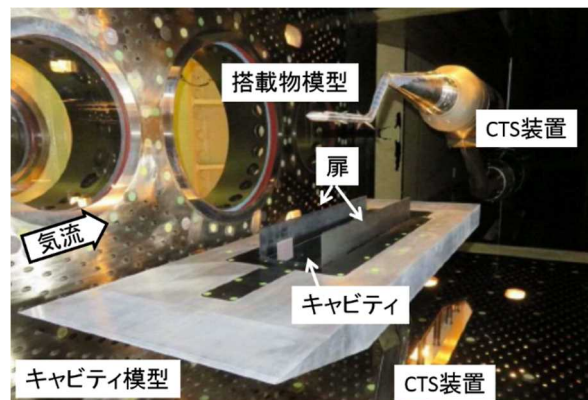
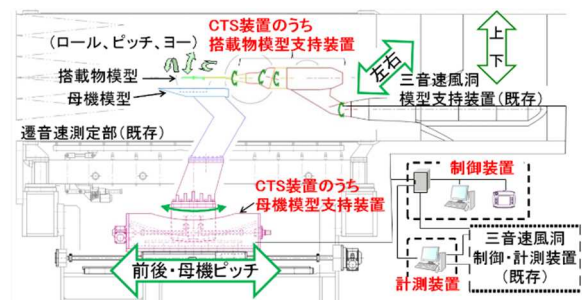


図2 風洞試験

3. まとめ

遷音速及び超音速での機体内部からの安全なウェポン分離を実現するために必要な技術基盤が得られた。

なお、分離特性評価システム(CTS 装置)は、今後の研究開発に貢献するべく、札幌試験場三音速風洞において実運用に供している。

*航空装備研究所航空機技術研究部 航空機空力・制御研究室

次世代エンジン主要構成要素の研究

○是枝直樹*、金子昂弘*

1. 背景及び目的

将来戦闘機コンセプト¹⁾(平成22年8月25日公表)に掲げられる次世代ハイパワー・スリム・エンジンを実現するためには、エンジンを構成する低圧系要素(ファン、低圧タービン)技術及び高圧系要素(圧縮機、燃焼器、高圧タービン)からなるコアエンジン技術の確立が必須となる。

スリムなエンジンでハイパワー(大推力化)を得るためには、エンジンが吸い込んだ空気に大きな燃焼エネルギー(高温化)を与えることで排気速度を高速化しなければならない。つまり、エンジンコア部である高圧系要素の高温化が必要となる。

本研究では実現難易度が高い高圧系要素技術を確立することで、コアエンジン技術に対するリスク低減を図った(図1参照)。

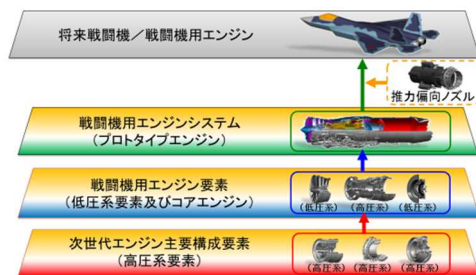


図1 研究概要

2. 研究内容

本研究では、これまで航空装備研究所で研究を行ってきた実証エンジン(先進技術実証機X-2搭載のXF5エンジン)と比較して、タービン入口温度(Turbine Inlet Temperature:以下「TIT」という。)を200℃高温化した1800℃とすることを目標としている。

TIT=1800℃の高温化に対応するためには、燃焼器及びその後段に位置する高圧タービンの耐熱技術の向上が必須となることから、本研究では以下の新技術を適用した。

- ① 世界最高温度レベルの国産耐熱材料(高圧タービン翼及びディスク)
- ② 新冷却構造(燃焼器ライナ及び高圧タービン翼)

圧縮機においては、効率の向上を図るとともに、

更なる軽量化を図るため、全段 Blisk (Bladed disk) 構造を適用し、実証エンジンの圧縮機と比較して10%の軸長短縮を図った。

本研究では、平成22年度～平成26年度にかけて、図2に示す各要素の試験用供試体を試作(設計・製造)し、平成25年度～平成27年度にかけて、高圧系要素として各試作品に求められる空力性能、燃焼性能及び部品強度に対する各種試験を実施した。

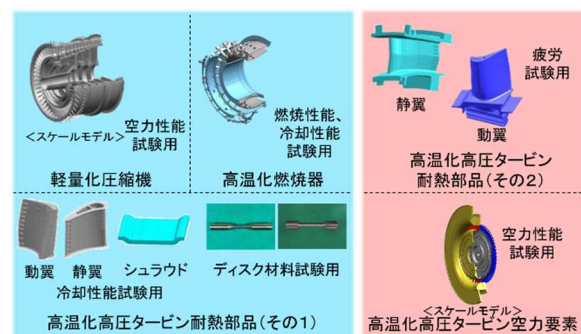


図2 供試体概要

試験の結果、各種性能を満足し、ハイパワー(大推力化)を実現するために必須となる、高温化に対応する TIT=1800℃級のコアエンジンの実現に必要な技術的な見通しが得られた。本研究の成果は戦闘機用エンジン要素に関する研究等の後続する事業に反映されている。

本ポスターセッションでは、本研究で実施した圧縮器、燃焼器及び高圧タービンの各要素に適用した技術及び試験結果の一部を紹介する。

なお、展示品ブースにて、試作品の一部として、圧縮機第1段ブリス、燃焼器ライナ、高圧タービン空力要素(回転体)、高圧タービン翼、高圧タービンシュラウドを展示している。

参考文献

- 1) 防衛省, “将来の戦闘機に関する研究開発ビジョン”, p4, 平成22年8月25日
<http://www.mod.go.jp/j/press/news/2010/08/25a.html>

*航空装備研究所航空機技術研究部 エンジン熱空力・構造研究室

アクティブ防御技術の研究

一瀬悠里*、柏瀬伸行*、廣瀬一弥*、○松澤豊樹*

1. 研究の背景と目的

世界的な携帯対戦車弾の拡散により、伝統的な戦闘車両の防御の考え方では不十分な状況が生起している。重要部位、いわゆる正面装甲の強化(例えば、付加装甲の装着等)だけでは、防御力を確保することが難しくなっている。また、紛争地域等においてゲリラ等の携帯対戦車弾の脅威は、正面だけでなく、全周からの攻撃が一般化しており、全周を装甲強化すれば、大幅な重量増となり、車両の機動性を損なうということになる。

そこで、飛来する携帯対戦車弾を、検知し、迎撃体を発射し、携帯対戦車弾を撃破・無力化するアクティブ防御技術が注目されているが、撃破を重視するあまり、迎撃体による味方車両等への副次的被害の発生が問題である。諸外国では、アクティブ防御システムの開発・装備化が進んでいるものの、副次的被害の低減を考慮した迎撃体は実現していない。

陸上装備研究所では、これまで、現有の戦闘車両等に搭載・付加等することで、敵の攻撃から防護することができるアクティブ防御技術に関する研究を行っている。図1に運用構想を示す。



図1 運用構想図

2. 研究の内容

本研究では、検知→会合位置計算→迎撃体発射→撃破という、図2に示す、シーケンスについて、システム検討を行う。システム検討では、検知及び会合位置計算を行う検知評定部、迎撃体を発射する発射器及び全体シーケンスを制御する制御部からなる構成品に対して、システムの成立性から性能割り付けを行う。さらに、割り付けられた性能を満足する各構成品の設計を行い、地上設置状態におけるプロトタイプ(原理検証型)を製作し、プロトタイプを用いて、検知→会合位置計算→迎撃体発射→撃破までの一連のシーケンスの性能確認を行うことにしている。

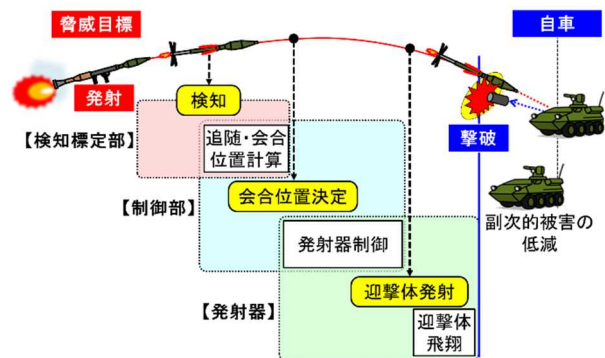


図2 アクティブ防御のシーケンス概要

また、諸外国では実現していない、副次的被害の低減を考慮した迎撃体については、各種方式を検討し、実射試験による比較を進めている。

研究試作及び性能確認を引き続き実施する。性能確認においては、個別構成品の性能確認を実施した後、全体のシーケンスを通して性能実証を行うことにしている。

今後、戦闘車両への将来的適用に向け、車体搭載による動揺補正及び小型軽量化等の機能についての統合を踏まえ、更なるシステム化の検討を計画している。

*陸上装備研究所弾道技術研究部 管制・自動化研究室

CBRN対応遠隔操縦作業車両システムの研究

○渡邊嵩智*、上村圭右*、成瀬正啓*、後藤和久*、鈴木洋史*、森下政浩*

1. 研究の背景と目的

東日本大震災発生直後、被災した原子力発電所及びその周辺では、放射能レベルが高いため人が近づくことができず、既存装備では障害物撤去や通路啓開などの作業及び地上からの情報収集は困難であった。そこで、本研究では、CBRN※1汚染地域等の人員が危険で近づけず、現場の情報が事前に得られない環境下における、情報収集や各種作業といった初動対応が、遠方の安全な地点から遠隔操縦によって可能な自己完結型の無人車両システム技術の確立を目指した。運用構想図を図1に示す。

※1 CBRN: 化学 (Chemical)、生物 (Biological)、放射線 (Radiological) 及び核 (Nuclear) の略



図1 運用構想図

2. 研究の内容

東日本大震災復興特別会計により、平成23年度からCBRN対応遠隔操縦作業車両システム（以下、「CBRN車両システム」という。）の研究試作を行い、平成27年度末まで性能確認試験を実施した。

最終年度の平成27年度には、CBRN車両システム全体を用いて遠隔操縦作業性能及び長距離通信性能について試験評価を行った。試験は陸上自衛隊施設学校及び北部方面施設隊に隊員及び演習場の支援を受けて実施した。また、国土交通省の協力を得て、雲仙普賢岳無人化施工現場周辺においても試験を実施した。

3. 試験の内容

CBRN車両システムの遠隔操縦作業性能については、陸自隊員等の遠隔操縦による掘削・埋戻等の基本作業、災害現場を模擬した木ガレキ、火山岩等の通路啓開作業などにより確認した。遠隔操縦作業状況を図2に示す。

また、CBRN車両システムの長距離通信性能については、指揮統制装置から約20km離して配置した遠隔操縦装軌車両及び中継器ユニットを、衛星通信で遠隔操縦走行等をさせることにより確認した。

図2 遠隔操縦作業の状況
(雲仙普賢岳無人化施工現場周辺)

4. まとめ

CBRN車両システムの遠隔操縦による作業性能、長距離通信性能等について確認した結果、CBRN汚染地域等の現場の情報が事前に得られない環境下における、情報収集や各種作業が遠方の安全な地点からの遠隔操縦によって可能な自己完結型の無人車両システム技術の確立することができた。

また、本研究結果を基に今年度から実施している「環境認識向上技術の研究」は、複数車両等の情報統合により走行・作業エリアの3D地図作成や俯瞰表示を行い、複数車両での安全・効率的な走行・作業を可能にするものである。さらにCBRN車両システムの操用性向上技術に係る所内研究についても立ち上げ、当該技術の研究を推進するとともに、今後も引き続き陸自関係部署等とも連携し、災害への対応力強化への貢献を目指す。

*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

軽量戦闘車両システムの研究

○姫路裕二^{*1}、杉山精博^{*2}、池田翔^{*3}、阪本雅行^{*3}、江刺家大亮^{*3}、
向井秀昭^{*2}、佐々木秀明^{*1}、藤井圭介^{*3}

1. 研究の背景と目的

陸上装備研究所では、非対称戦闘、島嶼部侵攻対処などの新たな脅威や多様な事態に対応するために、軽量コンパクトでありながら火力、防御力、機動力を有する軽量戦闘車両システムの実現性に関する研究を行っている。その具体的構想は火砲型と耐爆型からなり、空輸性を考慮して軽量とし、機動性向上の観点から駆動方式はインホイールモータによる6輪独立駆動方式としている。火砲型は直接・間接照準射撃可能な低反動砲の搭載を、耐爆型は高い耐爆性を有する耐爆構造の採用をそれぞれ特徴としている。図1に運用構想図を示す。



図1 運用構想図

2. 研究の内容

本研究では、上記の軽量戦闘車両システムの実現性を検証するため、システム設計において、シミュレーションモデル(以下、「フィージビリティモデル」という。)を作成し、シミュレーションによる検討を実施している。また、新たな機構、構造のため、その機能性能とフィージビリティモデルの妥当性を実機により確認する必要がある火砲の低反動化技術、爆発物等の脅威から乗員を防護する乗員防護技術、乗員防護と走行安定性を両立した独立分散駆動型電気駆動システム技術について、それぞれ供試品を試作して機能確認を実施するとともに、フィージビリティモデルの精緻化用のデータを取得している。取得したデータにより精緻化された、フィージビリティモデルを用いて、実現性の評価を実施し、最終的に実現しうる軽量戦闘車両システムを明らかにする。

3. 試験の内容

(1) 射撃試験

火砲の低反動化技術について、火砲型に適用する2段式の駐退復座装置を有するデュアルリコイル方式を用いた口径105mmの低反動砲を試作し、射撃試験を実施した。試験の結果、従来のシングルリコイル方式と比較し発射反動の低減を確認するとともに、必要なデータを取得した。

(2) 耐爆試験

乗員防護技術について、耐爆型の車体を模擬し耐爆性能を向上させた耐爆車箱及び衝撃緩和座席を試作し、人体ダミーを搭載し、実爆試験を実施した。図2に実爆試験の状況を示す。試験の結果、乗員の受傷防止の効果を確認するとともに、必要なデータを取得した。

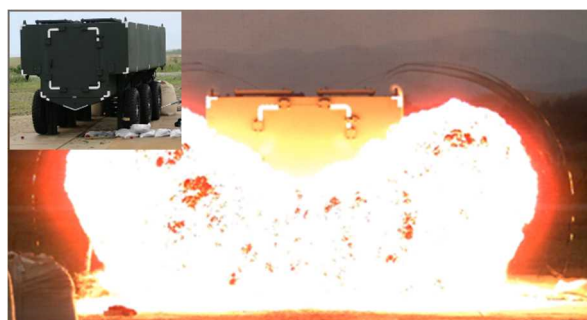


図2 実爆試験

(3) 機動試験

独立分散駆動型電気駆動システム技術について、インホイールモータを全輪に搭載した試験用車両を試作し、機動試験を実施した。試験の結果、最高速・加速性能、登坂性能等軽量戦闘車両システムに求められる機動性能を確認するとともに、必要なデータを取得した。

4. 今後の予定

引き続き、射撃試験及び機動試験を実施し、得られた成果をフィージビリティモデルに反映することにより、軽量戦闘車両システムの実現性について検討する予定である。

^{*1}陸上装備研究所システム研究部 戦闘車両システム研究室

^{*2}陸上装備研究所システム研究部 火力システム研究室

^{*3}陸上装備研究所弾道技術研究部 火力・防護力評価研究室

ハイブリッド動力システムの研究

○高野格*、平秀隆*、山田浩司*、藤口信行*、金内由紀夫*、椿尚実*、森智章*

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、ステルス性や生存性向上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

ハイブリッドシステムとしては、効率の良い領域でエンジンが運転できるため燃費の向上が期待でき、蓄電池のみでも走行できるので静粛性やIRシグネチャ低減にも優れ、発電機を用いて宿营地や被災地等での大電力供給が可能な点も考慮し、シリーズハイブリッド方式を採用した。また、蓄電装置の能力としては、蓄電装置のみで約1時間走行可能(約10km/h時)として仕様を決定した。

ハイブリッド動力システムを搭載した装軌式車両の主要な機能と諸元を表に示す。

表 主要な機能と諸元

車両寸法	L 約 5.7m × W 約 2.8m × H 約 2.2m
車両質量	約 13t
最高速度	約 70km/h
旋回性能	超信地旋回が可能
燃費性能	約 30%向上
ハイブリッド駆動、エンジン駆動及びバッテリー駆動の各形態に切り替え、動作が可能	

現在、試作車両の性能評価試験を実施中であるが、試験の一例として、表中の最高速度の試

験結果について述べる。陸上装備研究所の台上試験装置により、試作車両は最高速度約70km/hが達成できる目処を確認した後、実走行により最高速度約73km/h、0-200m間の発進加速性能は約18sという結果が得られた。図に実走行試験での最高速度試験の景況を示す。



図 最高速度試験（実走行試験）

現時点までに、車両の基本性能である速度性能、加速性能、旋回性能、登坂性能、燃費性能等について良好な結果が得られており、ハイブリッド動力システムに期待される性能及び効果を達成できる見通しを得ている。

なお、ハイブリッド車両は蓄電装置を持つため、燃費性能を評価する場合は、走行開始／終了時の蓄電装置の充放電状態を考慮する必要がある。また、減速時に回生制動による発電を行うことから、設定する走行パターンによっても燃費性能の評価に影響する。ハイブリッド車両の燃費性能評価については、米国も技術課題として注目しており、本研究においても米陸軍 TARDEC（戦車・自動車研究開発技術センター）との共同研究を通じて、ハイブリッド車両の燃費試験実施要領（Test Operations Procedure）を構築しているところである。

4. まとめ

ハイブリッド動力システムを搭載した装軌式車両を試作し、実走行試験による性能確認を行った結果、良好な車両性能を有することが確認できた。今後も、台上試験、走行試験等を実施し、将来の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していく計画である。

*陸上装備研究所機動技術研究部 車体・動力研究室

軽量化履帯の研究

○佐々木秀明*、平秀隆*、涌井太*、小泉良太*、伊藤崇則*

1. 背景及び目的

島嶼部に対する攻撃への対応として、迅速な展開・対処能力の向上が求められており、戦闘車両として高い機動性、車両の軽量化が必要となっている。戦闘用装軌車両は高い軟弱地通過性能を持ち、不整地における高速走行が可能である等のメリットを有する反面、車両質量が大きい、大規模な輸送能力を必要とする。また、路上走行時は、路面保護のため、鉄履帯にゴムパッドを装着する必要があるなど、運用面でのデメリットもある。車両質量を大幅に低減する可能性を秘めた履帯軽量化の有効な手段の一つであるゴム履帯は、一般建機用のものが存在するが、これは車両質量約 10 t 以下で、かつ、低車速で使用する設計であり、大質量かつ高速走行用のゴム履帯技術に関する知見はほとんどないのが現状である。

本研究の目的は、従来の鉄履帯よりも、質量、振動、騒音及び走行抵抗を低減し、路面を傷つけることなく走行可能となるゴム履帯技術についての技術資料を得ることである。本報告では、30 t 級の戦闘用装軌車両に適用可能な軽量化履帯の実現に向け、ゴム履帯の基本的な走行性能について明らかにするために実施した実装車両を用いた走行試験の成果について示す。

2. 研究対象としたゴム履帯

図に 30t 級車両へゴム履帯を適用した状況を示す。ゴム履帯は、左右の履帯それぞれが一体型をしており、また、履帯を駆動するスプロケットは軽量化及び履帯保護のため、高分子材を使用している。履帯に使用するゴムは、変形・屈曲による発熱を抑制する発熱低減性、傷の発生に伴うカット破壊を抑える耐カット性を考慮し、ゴム材質の成分を変更して、3 種類の異なる特性のゴムを選定した。このそれぞれのゴム材質を 1/3 周ずつ取り入れ 1 本の履帯として製造したものを使用して走行試験を実施し、ゴムの特性が走行性能に与える影響についても合わせて調査した。

3. 走行性能試験

走行性能試験では、コンクリート平坦路において、直進・旋回性試験、振動・騒音計測試験、走行抵抗計測試験、定常走行試験をそれぞれ実施した。表に、試験結果をまとめたものを示す。



図 30t 級車両へのゴム履帯の適用状況

表 試験結果

計測項目	試験の成果(鉄履帯比)
履帯質量	約 46%低減(約 1.4t 低減)
直進走行性	同等
旋回走行性	同等
振動特性	約 50～80%低減
走行抵抗	最大 16%低減
騒音特性	最大 16dB 低減

これより、ゴム履帯は従来の鉄履帯と比較して、直進性や旋回性といった走行性能は同程度を確保しながら、履帯質量は約 46%の質量低減が可能であることが確認できた。また、ゴム履帯は鉄履帯に比べ、振動、走行抵抗及び騒音の大幅な低減が可能であるなど、軽量化だけでなく燃費の向上及び被発見性の低減等戦闘装軌車両の性能向上に大きく寄与できると考えられる。

4. まとめ

車両の軽量化及び機動性の向上のため、ゴムを材質とした軽量化履帯の研究を実施し、走行性能に関する技術資料を得た。将来、戦闘装軌車両へ適用する際は不整地走行における耐久性及び整備性等についても検証する必要がある。

対赤外線センサに有用な塗料の開発

○古舘裕也*¹、有賀敦*²、岡本庸一*²、小笠原永久*³

1. 背景

赤外線センサの研究・開発が国内のみならず諸外国で日夜進んでいる現在において、赤外線センサは我が国の安全保障に非常に大きな影響を与えるといえる。赤外線センサが使われている例としては、暗視眼鏡、ミサイルシーカ又は車両、艦艇そして航空機に索敵等のために装備されており、汎用性及び秘匿性の高さと高性能化により赤外線センサの重要性は高まっている¹⁾。

2. 目的

赤外線センサは物体の温度を感知し、画像情報とする。そこで、赤外線センサに感知されないようにするために装備品表面の放射熱を低減させる塗料を研究・開発する。

3. 塗料の作製

ベースに自衛隊内で使用されているフタル酸樹脂系塗料ネオフタリット(以下OD塗料)を使用し、これに金属粉末を添加した。

添加する金属はアルミニウムと銅とし、形状が微粉末及びフレーク状とした任意の割合で添加・調製した。

4. 塗料の効果

塗料をFT-IRで測定し、その効果を赤外線の放射率及び反射率に分けて順に図1、図2に示す。

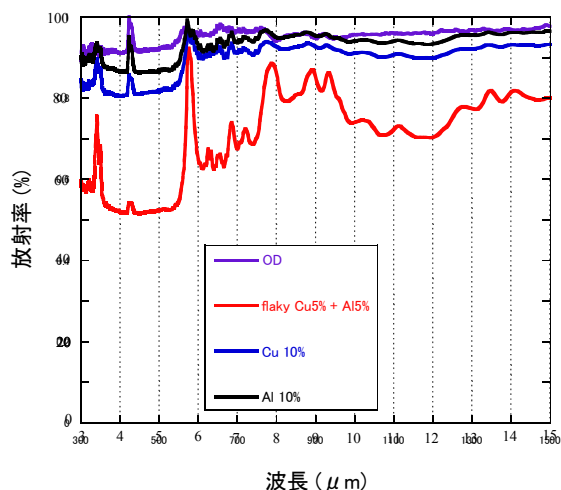


図1 各試料の赤外線放射率

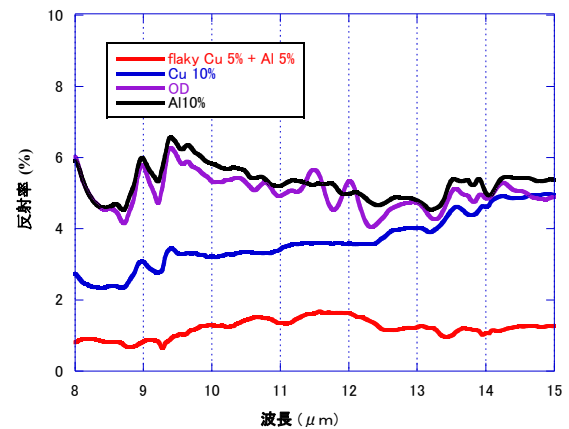


図2 各試料の赤外線反射率

図1及び図2が示すように赤外線放射率及び反射率を低減させるのに最も効果が高い塗料はフレーク状の銅及びアルミニウムをそれぞれ5%添加したものであった。

5. 考察

上で述べた効果は金属がフレーク状であることがその効果をもたらしたと考える。フレーク状であることにより、塗装膜内で銅及びアルミニウムがそれぞれ層を形成し、塗装表面に粗さを与えた。そのことで、赤外線放射熱を断熱、更に入射光の反射も抑制されたのだと考える²⁾。

6. 今後の展望

今後の方針としては、更なる放射率の低下の実験(塗装膜厚の調整等)及び電波レーダに対する効果についても検証していく計画である。

塗料であるという事は全ての装備・火器に使用する事が出来る。これを使用することで自衛隊全体の総合的な防護力を押し上げ、我々の任務達成に多大な貢献ができると考える。

参考文献

- 1) 土志田 実, "赤外線技術～より確実に、より繊細に、暗いところでも見えるように～", 防衛技術シンポジウム 2012
- 2) S.Wijewardane, D.Y.Goswari, "A review on surface control of thermal radiation by paints and coating for new energy applications", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, Issue 4, May 2012

*¹防衛大学校 理工学研究科 前期課程 物質工学専攻*²防衛大学校 機能材料工学科*³防衛大学校 機械工学科

ヘルメットとNIRS装置の適合性及び性能評価

○柳田保雄*1、溝端裕亮*2、柏崎利昌*3

1. 背景

加速度誘発性意識消失(G-LOC)や低酸素症は飛行安全上の重要課題であり、近年、飛行中の生体モニタリングの重要性が認識されつつある。

生体モニタリングの方法としては、脳波、心電図、パルスオキシメータ等があるが、その一つであるNIRS(Near Infrared Spectroscopy 近赤外分析法¹⁾)装置による脳内酸素計測(図1)は、操縦能力低下を検出できる可能性があることが知られており、米国でも適用が試みられている。

我が国においても、NIRS装置を使用して機上の脳内酸素計測が可能であることを確認したが、これまでの器材は比較的大型で運用環境によっては使用に制限があった。

近年NIRS装置は小型化が進んでおり、携帯型NIRS装置はより広範な環境での適用可能性が見込まれる。

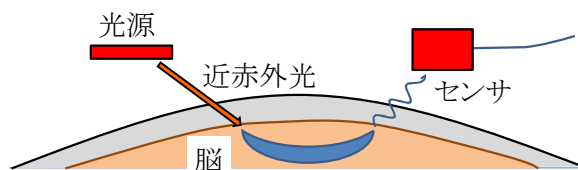


図1 NIRS装置を使用した脳内酸素計測

2. 目的

航空医学実験隊が所有している時間分解型NIRS装置は大型であるが、大脳内酸素化指標の絶対値を定量可能である。一方、今回注目した携帯型NIRS装置は非常に小型であるが、原理が異なり、応答周波数は高速であるが、皮膚血流の影響を受けやすく、脳内血流量の相対変化値のみを測定可能である。

そこで、航空環境下で、携帯型NIRS装置の機能・性能が十分であるかを確認するため、姿勢変化による脳内酸素状態の変化を、携帯型NIRS装置及び時間分解型NIRS装置で同時に計測し、携帯型NIRS装置の性能を評価することとした。

3. 方法

航空医学実験隊の隊員3名に対し、携帯型及び時間分解型のNIRS装置を装着し、受動的起立

試験を実施した。

センサの装着部位は、携帯型については、左前額部、時間分解型については、右前額部とした。被験者をティルトテーブルに載せ、横臥位で安静を保持したのち、受動的に起立させ、立位の状態を6分間保持した。

脳内酸素計測とあわせて、組織酸素飽和度及び平均血圧を測定した。

3. 結果

3名のうち1名の測定で、受動的起立後、脳内酸素は携帯型及び時間分解型のいずれのNIRS装置でも明確な減少傾向が観測された。

受動起立後、脳内酸素が最低となる時間に差異が現れたが、これは携帯型NIRS装置が皮膚血流の影響を大きく受けることに起因するものと推察された。

4. 結論

地上における受動的起立試験の結果、携帯型NIRS装置を用いて十分な機能・性能をもって脳内酸素計測をできる可能性が示唆された。

しかしながら、高G等の航空環境下での適用に当たっては、安定したデータ取得のため、センサの取付け方法や配線の取り回しといった適合性の検討(図2)を引き続き検討していく必要がある。



図2 ヘルメットとNIRSセンサの適合性

参考文献

- 1) 酒谷薫監修, "NIRS—基礎と臨床—", 新興医学出版社, p3-5, 2012

*1航空自衛隊航空医学実験隊第2部主任研究官

*2航空自衛隊航空医学実験隊第2部生化学科

*3航空自衛隊航空医学実験隊第2部長

新型耐G服と耐Gバルブに関する基礎的研究

○加藤博司*1

1. はじめに

最新の戦闘機においては、従来よりもG防護性能の向上が図られた新型の耐G服や耐Gバルブが使用されている。本研究では、航空自衛隊が運用している航空機への新型の耐G服及び耐Gバルブの適用を目的として、各種検討を行っている。本報告では、新型耐G服の機体適合確認及び遠心力発生装置を用いた基礎的な性能確認試験について紹介する。

2. 耐G服及び耐Gバルブの概要

航空機が旋回や引き起こしを行うと、頭部から脚の方向への加速度+Gzの作用により、操縦者は、脳貧血状態となり、視覚症状や意識喪失など危険な状態に陥る。耐G服は、耐Gバルブからの空気によって下半身を圧迫し、脳血流の減少を防ぐために着用される。

航空自衛隊で使用している現用の耐G服を図1に示す。耐G服の内部には、下腹部、大腿部及び下腿部の前面に気のう(ブラダ)が内蔵され、腰部にあるホースを通じて耐Gバルブに接続される。図2は、新型耐G服である。この耐G服は、現用耐G服よりもブラダが拡張され、下半身のほぼ全表面をブラダが覆う構造となっている。

図3は現用耐Gバルブの構造の概略である。耐Gバルブに+Gzが加わると、慣性力により錘が下垂し、排気弁を閉鎖すると同時に供給弁を開き、+Gzの大きさに比例する圧力の空気耐G服に送気する。+Gzが減少すると、ばねの力により錘が上昇し、供給弁を閉鎖するとともに排気弁が解放され、ブラダ内の空気が大気へ放出される。他方、図4は、新型耐Gバルブの概要である。このバルブは電気作動式であり、2個の電磁弁を開閉させて、耐G服へ送られる空気の圧力を調整する。

3. 加速度実験及び航空機耐Gバルブの圧力応答計測

2名の被験者に対して行った加速度実験の結果、新型耐G服および電気作動式耐Gバルブの優位性が示唆された。また、航空機耐Gバルブの圧力応答計測を実施した結果、実機における耐Gバルブの圧力応答及び流量特性を把握することができ、実機と同等の状況での加速度実験が可

能となった。結果の細部は、ポスター発表による。



図1 現用耐G服

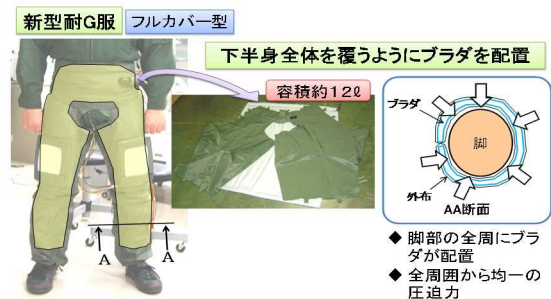


図2 新型耐G服

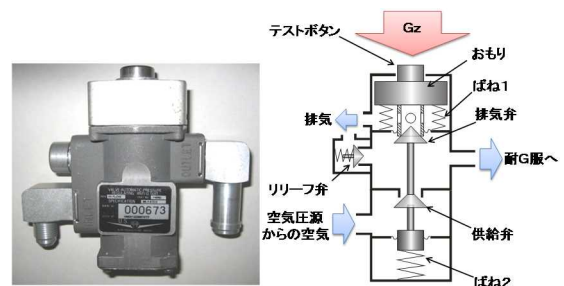


図3 現用耐Gバルブ

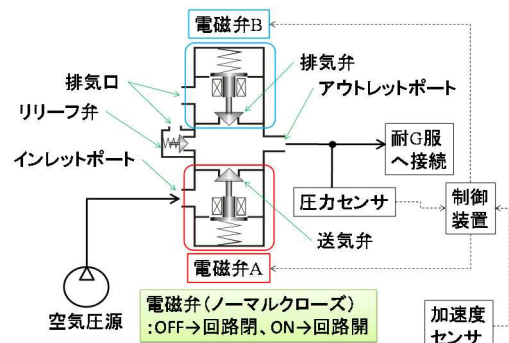


図4 新型耐Gバルブ

*1航空医学実験隊第4部口装備品科

ステルス評価装置の性能確認試験

○林健一*、伊藤慧太*、金子竜太*、橋村隆行*

1. 概要

本事業は、小型航空機、艦艇、車両等の対レーダ被探知性を評価し、将来の戦闘機等の残存性向上に資することをねらいとし、小型航空機等のレーダ反射断面積(RCS: Radar Cross Section)の屋外計測・評価手法に関する技術資料を得る目的で実施している。その運用構想図を図1に示す。移動中の航空機等を対象にRCSを計測する動的計測、実大模型等の対象を計測する静的計測、そして、対象の形状や材質等から計算機シミュレーションによりRCSを推定する電磁界解析、この3つを比較検証しステルス性を評価する技術確立するものである。

本事業における一番の課題は、図2に示すように、屋外での計測結果と電磁界解析等による結果とを比較・検証し、計測評価精度の向上を図ることである。動的計測では、実目標を実環境で計測できるが、取得できる機会やデータ数等が限定され姿勢角の正確な制御は困難である。一方、静的計測では、姿勢角を正確に制御できるが、電波を球面波とみなす近傍界での計測結果を、電波を平面波とみなす遠方界での結果に変換する必要がある。また、電磁界解析では任意のパラメータ設定が容易にできるが、計算機の処理能力により解析モデルの忠実度に制限が生じる。そのため、これらの計測及び推定結果を比較・検証しながら全体として精度向上を図っていく必要がある。

本事業によりステルス性を評価する技術が確立できれば、ステルス化を図った装備品の開発等においてRCSの評価に貢献できるものと考えている。例えば、ステルス航空機の開発において、初めの構想・基本設計の段階では電磁界解析を用いた評価、次の部分模型、縮小模型の試作段階では静的計測、詳細設計段階では電磁界解析、実大模型の試作段階では静的計測、試作機及び量産機の段階では動的計測によって評価を行う、といった各段階において、設計や製造の妥当性の確認ができ、ステルス航空機の効果的かつ効率的な開発に貢献できるものと考えている。

我々は前述した課題を解明するために、平成23年度から平成26年度にかけてステルス評価装置の研究試作を行い、本装置の性能確認試験を

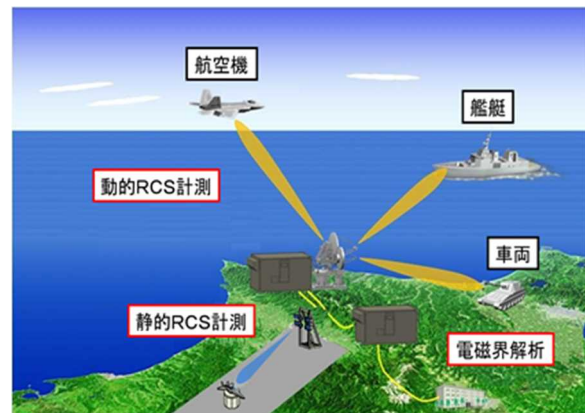


図1 運用構想図

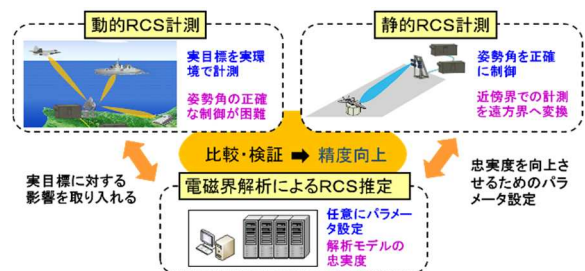


図2 屋外計測と電磁界解析の関係

平成26年度から開始している。平成27年度までに護衛艦やT-4等の動的計測等を行って所用のデータを取得している。

2. 今後の予定

今年度は先進技術実証機(X-2)やT-4等の動的計測等を実施する。地上に配置したステルス評価装置から飛行中のX-2等のデータ取得を行う。また、X-2に関連する実大RCS模型の静的計測を平成29年度に実施する予定であり、先に述べたように動的計測、静的計測及び電磁界解析の結果を比較・検証する予定である。X-2は、数々のステルス技術が盛り込まれた我が国初のステルス航空機であり、貴重なデータが取得できるものと考えている。

*電子装備研究所 飯岡支所 電磁特性研究室

航空機搭載合成開口レーダを用いた目標検出

○遠藤康司*、中濱大晶*、中澤利之*

1. 背景

近年、ゲリラや特殊部隊への対処、島嶼部侵攻への対処、さらには重要施設の防護の必要性が高まっており、それらの対処能力の早急な向上が求められている。そのためには、脅威の想定される地域の情報収集や警戒監視を夜間や天候に関係なく継続的かつ詳細に行う必要がある。

合成開口レーダ(SAR: Synthetic Aperture Radar)は、夜間や天候に関係なく運用でき、また情報を広域にわたり収集できる特徴がある。さらには高分解能な合成開口レーダによるポリメトリ(偏波)解析、インターフェロメトリ(干渉)解析は地上、海上の移動目標検出や目標識別に非常に効果的な手段と考えられており、また地表面状態の観測や地形変動の解析にも有効と考えられている。

2. SAR 画像の紹介

平成24年度～平成26年度に総務省が研究開発した「小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダー」のうちヘリ搭載用の器材1式(図1参照)を防衛省において活用し、合成開口レーダによる目標検出、目標識別等の技術を向上させるための研究を実施している。

平成27年度に当該器材により撮像した SAR 画像の例を図2に示す。図の色付けは送受信の偏波成分を表しており、赤色は水平偏波送受信成分(HH)、青色は垂直偏波送受信成分(VV)、緑色は水平偏波送信・垂直偏波受信成分(HV)を示している。強い反射がある箇所は輝度も大きくなるため、全ての偏波成分が強い箇所は白色、逆に全ての偏波成分が弱い場合は黒色となる。図2は、名古屋港近辺において図中左上から右方向に向けてヘリが飛行し、図中上方から下方(機体進行方向から見て右側)に向けて電波を照射した際の SAR 画像を示している。図中左上の黒い部分が後方散乱成分(ヘリの方向に跳ね返る電波の成分)の小さい海面であることを示している。この海面中にはいくつかの白い点があるが、これは後方散乱成分の大きい(電波を反射しやすい)構造物等の反射物体が存在していることを示している。図3はこの海面中の白い2点を拡大したものであり、湾内を航行中の船舶が検出されている様

子が確認できる。当日は、その他取得した画像及び今後の計画について紹介する。

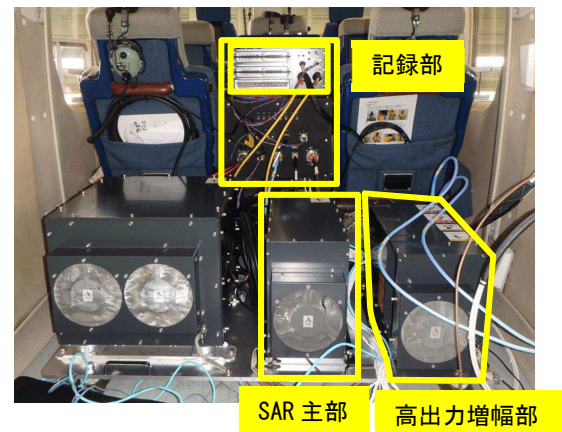


図1 機体搭載の様子(後部ハッチ内部)
(提供: セントラルヘリコプターサービス株式会社)



図2 名古屋港近辺の SAR 画像

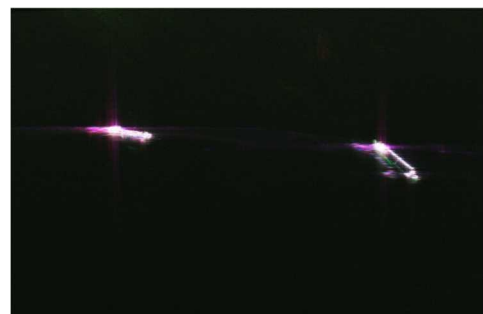


図3 名古屋港近辺の航行船舶

*電子装備研究所センサ研究部 電波センサ研究室

深層学習を用いた合成開口レーダ画像からの目標類別

○畑貴将^{*1}、濱野健二^{*1}、平進太郎^{*1}、中澤利之^{*2}

1. 背景

近年、周辺海空域における安全確保等のため、脅威に対する情報収集・警戒・監視・偵察活動の必要性が高まっている。衛星や GlobalHawk 等の無人機による合成開口レーダは夜間や悪天候時においても継続的な運用が可能であり、反射強度や偏波等の画像情報による目標の検出・類別に有効な手段である。

防衛用途においては、米国にて合成開口レーダ画像の自動認識に関する研究が精力的に実施されている。一方で、1980年に発表されたネオコグニトロンがルーツの深層学習を用いた類別アルゴリズムは民生用途においても文字や画像認識の分野において急速に発展しており、近年の計算機能力の向上と学習用データの充実により、人間の類別能力を速度・精度の面で超えつつある。また、学習させたニューラルネットワークを同種の別の特徴抽出に転用する転移学習も可能となってきた。

このため、深層学習を用いた類別アルゴリズムを合成開口レーダ画像へ応用することにより、夜間や悪天候時における、類別困難な目標情報の高速な自動類別が期待される。

2. 目的

合成開口レーダの目標画像に対して、深層学習を用いた畳み込みニューラルネットワークによる目標類別アルゴリズムを応用し、自動類別に関する検討を行う。

3. 研究内容

深層学習を用いた畳み込みニューラルネットワークは、正解付のデータセットを用いて学習させることにより、汎用性の高い特徴抽出を可能とする。

ネットワークは前段の畳み込みと後段の識別の部分に分かれる。一般的に、畳み込みニューラルネットワークでは、入力層でデータを取り込み、畳み込みとプーリングにより、抽出した点や線等の局所的な特徴を砲塔や車体等のより高次の特徴へとまとめながら次の層へ渡していくことで分類を可能とする。また、正解付データ等を用いた逆誤

差伝搬法による学習で、層間の重み付けの最適化を自動で行うことが可能である。

本研究では、正解付データである米空軍のMSTAR(Moving and Stationary Target Acquisition and Recognition)公開データセット¹⁾を用いた。

図1にMSTARの強度画像例を示す。軍事目標10種類のX帯合成開口レーダ画像について、俯角15°のデータを用いて学習を行い、俯角17°のデータで検証を行った。



図1 MSTARの画像例¹⁾

4. 結果

図2に類別結果の例を示す。背景雑音を含む合成開口レーダ画像において高い正解率を得られた。

今後は電子装備研究所で所有する小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダで取得した画像情報等を用いた検討を実施する予定である。

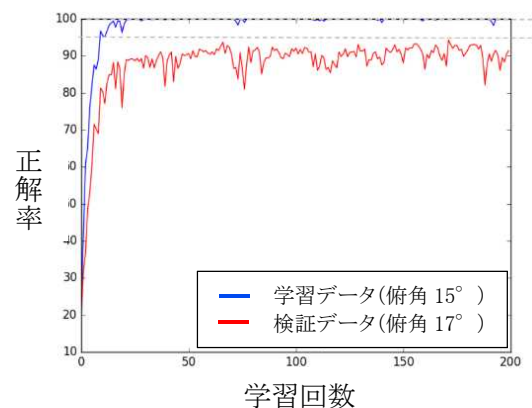


図2 類別結果

参考文献

- 1) U.S.AIR FORCE, "MSTAR OVERVIEW", <https://www.sdms.afrl.af.mil/index.php?collection=mstar>

^{*1}電子装備研究所情報通信研究部 サイバー情報研究室

^{*2}電子装備研究所センサ研究部 電波センサ研究室

遠距離探知センサシステム

○大川保純*、浅田順之*、柴崎忍*、佐藤玲司*

1. 背景

近年、ステルス機、巡航ミサイル及び弾道ミサイルが新たな経空脅威として出現すると予想され、その対処が必要となっている。経空脅威の対処には、可能な限り遠方で早期に探知・識別することが有効であり、経空脅威の侵入及び飛翔経路を正確に把握することにより、最終的な迎撃能力が格段に向上することが見込まれる。

2. 目的

図1に運用構想図を示す。遠距離探知センサシステム(以下、「本システム」という。)は、レーダ及びIRST(Infra-Red Search and Track: 赤外線搜索追跡)を大型航空機に搭載し、単独処理、統合処理を行うものである。経空脅威の対処のために迎撃ミサイル等と連携する本システムに関する技術資料を得ることを目的とする。

3. 研究内容

本システムは平成22年度から平成27年度にかけて研究試作を実施し、平成25年度からは性能確認試験を実施している。平成27年度に実施した地上総合試験では、電子装備研究所飯岡支所において本システム全体を地上で接続し、機能・性能を確認した。

4. 結果

レーダ及びIRSTで在空機を捉えた一例を示す。図2は、レーダ及びIRSTが在空機を探知した様子を示している。図2のうち左下のPPIスコープでは、レーダが在空機を探知している様子を示している。ここでは、黄色でフッキングされた在空機に注目して協調動作制御を行った。レーダで先に探知した在空機に対し、IRSTにレーダの視軸方向へスレーブ指示を送ったところ、図2のうち左上のCスコープから、IRSTがレーダの視軸方向を向いたことを確認した。また、図2のうち右上のIR画像に青枠で目標識別番号と星印が付加されていることから、IRSTが在空機を追尾していることを確認した。これより、協調動作制御の有効性を確認した。

このとき、レーダ及びIRST共に探知した距離は数十kmであった。IRSTを地上に置いた場合、大気による減衰が激しく、遠方の目標を見つけるのが困難となり、一方、レーダは大気による減衰をほぼ無視できるため、地上から上空を見る際の制約はIRSTよりも少ない。今回の在空機確認試験では、レーダが先に在空機を探知し、IRSTがレーダ方向へスレーブすることにより、共に探知することができた。今後は、機体搭載時において、雲頂高度より高い高度で本システムを動作させるため、IRSTの探知距離は地上設置時よりも延伸することが予想される。実目標をIRSTが先に探知し、レーダがIRST方向へスレーブする協調動作の確認は、今後の飛行試験において、本システムを機体に搭載し、平成29年1月からの飛行試験において実施する予定である。

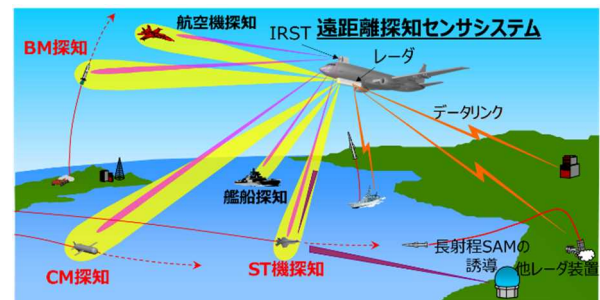


図1 運用構想図

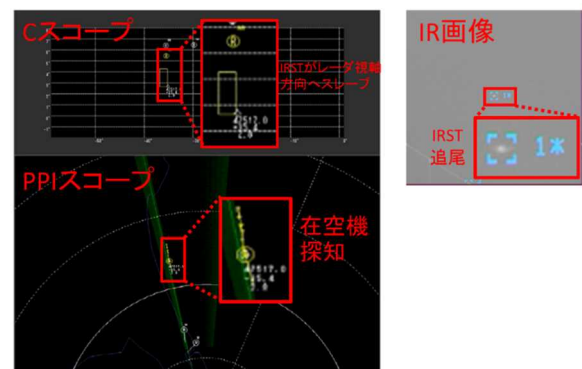


図2 レーダ及びIRSTで在空機を捉えた様子

*電子装備研究所センサ研究部 センサ統合研究室

脳活動計測による情報処理負担度の推定

○相羽裕子*¹、荒毛将史*²、野見山武徳*²

1. 緒論

運用環境のネットワーク化や情報化に伴い、多大な情報を処理し、複雑な意思決定・判断が求められる中で、これらに対処する隊員の情報処理負担度を把握することは、隊員の任務遂行能力や即応態勢を維持するために重要である。また、装備品の装用性評価においても、使用者の情報処理負担度の把握は、よりよい装備品を研究開発し、装備品の能力を最大限に発揮させるための有効な手段となりうる。

近年、情報処理負担度を把握する手法として脳活動計測技術が進展しているものの、運用環境等への適用を可能とする情報処理負担度推定手法の確立には至っていない。

防衛装備庁先進技術推進センターでは、航空自衛隊航空医学実験隊と協力し、NIRS(近赤外分光法)を利用した情報処理負担度のリアルタイム評価に関する研究を実施している。

本研究では情報処理負担度推定法の確立のため、基礎的検討として隊員が負荷の異なる課題を実施した場合のNIRSを用いた脳活動計測を行うとともに、パターン認識手法を用いて情報処理負担度を推定する手法を検討した。

2. 実験内容

脳活動の計測には、近赤外線酸素モニタ装置(浜松ホトニクス社製マルチファイバアダプタシステム)を用いた(図1参照)。本装置は、頭皮上から700-900nmの近赤外光を照射・検出することにより、脳活動に伴う血流変化を、酸素化ヘモグロビン等の濃度変化として計測するものである。

なお、実験課題として、N-バック課題(図1)を使用した。Nを変えることによって、情報処理の負荷量を変化させることが可能な課題である。

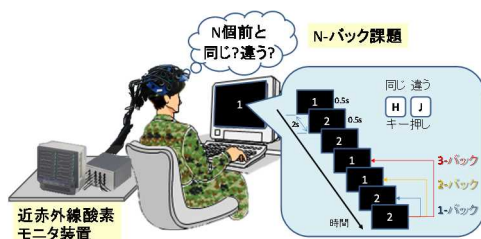


図1 実験の概要

パターン認識手法として機械学習の一手法であるSVM(Support Vector Machine)を用いた。N-バック課題遂行時の酸素化ヘモグロビンの相対濃度変化から算出した学習データ(以下「NIRS 学習データ」という。)を蓄積し、SVMを用いて情報処理負担度(1-バック、2-バック、3-バック課題のうち、いずれの課題程度の負荷に該当するか)を推定するためのアルゴリズムを作成し、識別性能を確認した。

3. 結果

課題遂行中の酸素化ヘモグロビン相対濃度変化の時間的推移について典型的な一例を示す(図2参照)。作業負荷が1-バックから2-バック、3-バックへと大きくなるに伴い、脳内の血流変化を反映する酸素化ヘモグロビン濃度の変化量も大きくなっており、負担の増大が推定される。

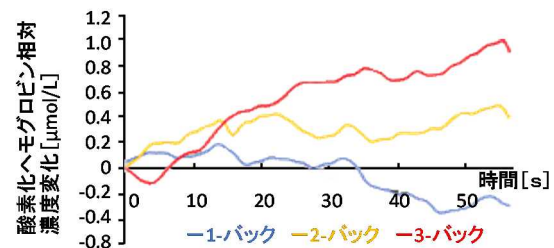


図2 課題遂行時の酸素化ヘモグロビン相対濃度変化の時間的推移（一例）

NIRS 学習データを用いて情報処理負担度の識別アルゴリズムを作成し、識別性能を確認したところ識別率は平均約60%であった。

4. 今後の検討

本研究では単純な認知課題実施時の脳活動計測及び情報処理負担度の推定を行い、個人差はあるものの、定量的な評価の可能性を確認した。

今後は、計測技術の向上、多様な被験者による個人差の把握等について検討するとともに、複雑な運用環境において情報処理負担度を推定する手法について検討し、情報処理に関する訓練効果の評価、装備品の装用性評価への応用を目指し、研究を進める予定である。

*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*²航空自衛隊航空医学実験隊第1部

CBRN脅威評価システム技術の研究

○坂上源生*1、前野旭弘*1、中村友行*1、伊奈伸一郎*2

1. 背景

化学、生物、放射線及び核(CBRN)による汚染は、汚染が風に乗って拡散し、その状況は専用の検知器を用いなければ確認することができず、汚染全体の状況把握が困難である。その一方、自衛隊は、テロや原子力発電所の除染作業といったCBRN汚染の対処に直面しており、より安全かつ効率的にCBRN対処を行うために、詳細な汚染状況を把握できることが望ましい。

2. CBRN脅威評価システムの研究試作

自衛隊によるCBRN対処能力の向上を目的として、防衛装備庁先進技術推進センターでは、大気拡散シミュレーションを基本としたCBRN汚染の拡散予測と、それに伴う汚染評価を行うシステムであるCBRN脅威評価システムを試作した。

CBRN脅威評価システムは、統合気象システム(JWS)などから取得した気象情報と、汚染地域付近で取得した検知情報や現地の気象観測結果から、事後の汚染物質の拡散を予測し、さらに得られた汚染の時系列分布から、汚染地域における活動可能時間などを評価することが可能である。また、CBRN脅威評価システムには、現場で状況把握に必要とされる時間に応じて、複数の解析モードが備えられている。戦闘行動時の化学攻撃への対処などの迅速な状況把握が必要な状況では、解析に必要な演算の規模を縮小し、短時間で解析が完了する解析モードを使用する。除染などの汚染状況の把握に時間的余裕がある状況では、演算の規模を大きくし、短時間の解析に比べて空間分解能の高い解析モードを使用することによって、より詳細な状況把握が可能となり、除染効率の向上が期待される。

図1にCBRN脅威評価システムの外観と解析結果の一例を示す。この解析は、ひし形で示す観測地点で汚染が観測され、それと気象情報をもとに汚染発生源の位置を解析し、汚染観測以降の汚染分布を予測したものである。システムの解析結果は、地理情報システム(GIS)を使用し、地図上に汚染分布や気象情報、観測情報が重畳表示され、使用者は汚染拡散の時系列的な様子やその積算値が確認できる。



図1 CBRN脅威評価システムの
外観と画面表示例

3. CBRN脅威評価システムの性能確認試験

平成26年より段階的に、試作したCBRN脅威評価システムの性能確認試験を実施している。シミュレーションの予測精度の検証は、専用風洞試験装置(図2参照)を用いて実施している。この風洞は、屋外での汚染物質の大気拡散の様子を模擬することが可能である。風洞装置の前方には、整流部と模擬大気境界層生成部が位置し、整流された空気から、屋外の自然風を模した乱流と速度分布をもつ試験気流が生成される。その後流側には測定部が位置し、都市模型や地形模型を設置することで、風の流れの分布やトレーサガスを用いた模擬拡散実験が可能となっている。平成27年度は本装置を用いて平坦地形と基準模型周りの風速分布と拡散分布を取得し、対応するシミュレーションとの比較を行うことで、シミュレーションの基本性能の評価を実施した。平成28年度は解析対象をより複雑な地形に移行するとともに、より現実的なシナリオを設定して解析と実験を実施している。

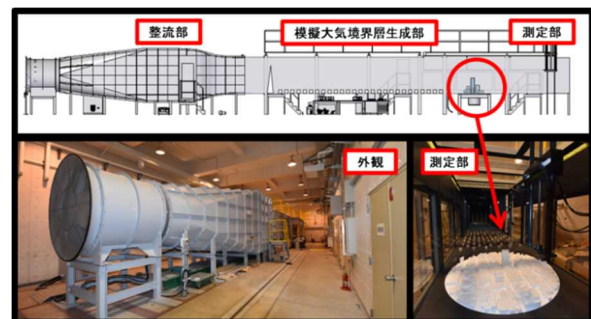


図2 風洞試験装置

*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

*2先進技術推進センター付

隊員協働ロボットの実現に向けたジェスチャによるロボット操縦技術

○山田隆基*、村上卓弥*、小林一穂*、柳原康功*

1. 背景・目的

UGV (Unmanned Ground Vehicle) 等のロボットシステムは、隊員に随伴し、偵察、物資輸送等に活用されることが期待されている。米国の「第3のオフセット戦略」では、「human-machine combat teaming」として、無人機が人間とチームを組んで行動するための技術が重要視されているが、先進技術推進センターでも、下車行動時の隊員とロボットが協働して作戦を行う「隊員協働ロボット」の構想を有する。

これを実現するための1要素として、ロボットの操縦を簡易化すべく、隊員同士の意思疎通にも用いられるようなジェスチャをロボット操縦に適用することを検討している。このためには屋内外の多様な環境に適用可能なジェスチャ認識技術が必要となる。

2. 研究内容

上記の条件でジェスチャ認識を行うために、3次元LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) により、非接触で人間の姿勢を計測する技術について研究中である。3次元LIDARは、屋内外、昼夜間、悪天候下等の多様な環境で安定して対象物までの距離を画像として計測することができるため、防衛、民生を問わず車両運転の自動化のために広く用いられている。一方、解像度が低いという欠点もあり、ジェスチャ認識への適用事例は見られない。

本研究では、3次元LIDARから出力される距離画像から、人間の頭部、手先等を検出し、これらを手がかりに身体全体の姿勢をリアルタイムで計測可能なシステムを作成した。3次元LIDARを用いているため図1に示す様に太陽光下や雨天下でも機能することに加え、移動するロボットに搭載されている場合でも計測を継続可能という特徴がある。出力については光学式モーションキャプチャシステムの計測結果と同様の傾向を示すことを確認しており、本システムの計測結果を基にジェスチャを機械学習により認識することにも取り組んでいる。

さらに、図2に示す様に、この3次元LIDARを小型UGVに搭載し、先行する人間に対して自律的に追従走行する研究も実施しており、障害

物や妨害者がいる場合でも追従走行を継続可能であることを確認している。

このように操縦インタフェースの簡易化とロボット自律化の双方について研究を進め、「隊員協働ロボット」を具体化する、より扱いやすいロボットシステムの実現を目指している。

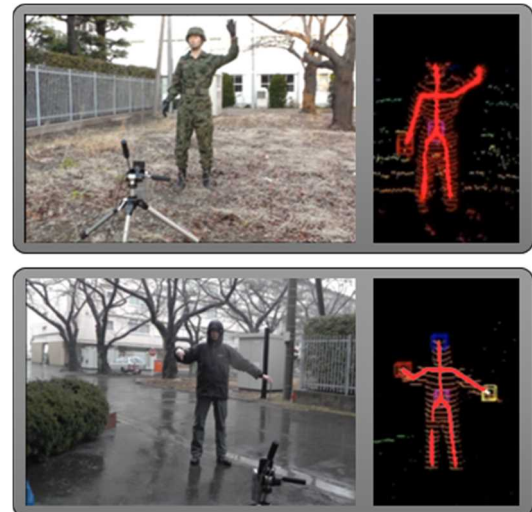


図1 太陽光下（上）及び雨天下（下）における非接触の人間姿勢計測

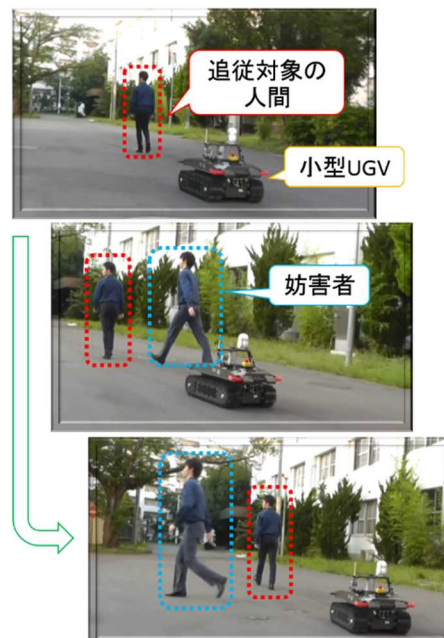


図2 小型UGVによる追従走行の自律化

*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

小型 UAV と小型 UGV の連携による屋内情報収集システムの研究

○小林一穂*1、村上卓弥*1、山田隆基*1、柳原康功*1、大崎馨*2

1. はじめに

先進技術推進センターでは、屋内での情報収集を行う「遠隔操縦式小型偵察システム」の研究を行っている(図1参照)。本システムは、小型 UAV(Unmanned Aerial Vehicle) 及び小型 UGV(Unmanned Ground Vehicle) の連携による屋内情報収集を目的とし、小型 UGV に小型 UAV を搭載して屋内へ進入し、小型 UGV では乗り越えられない障害物が現れた場合に、小型 UAV を離陸させ情報収集を継続する、といった用途を想定している。以下、小型 UAV について、主要な機能及び試験内容について簡単に紹介する。



図1 遠隔操縦式小型偵察システム

2. 本研究で試作した小型 UAV の主要な機能

小型 UAV の屋内飛行は、GPS 利用による位置制御が不可能、かつ壁等に遮られて自機が見通し外となる状態で操縦する必要があり、未だ課題が多い。本研究で試作した小型 UAV は、そのような環境で操縦画面のみを見て飛行させる場合においても操縦が可能となるよう、障害物への接触を許容する頑丈なきょう体の他、有線通信機能や操縦支援機能等を備えている。各機能について詳細を述べる。

(1) 見通し外遠隔操縦機能

光ファイバを通じて有線通信を行う機能により、屋内で自機が見通し外となり、無線通信が使用不能となる場所においても遠隔操縦の継続が可能となる。

(2) 3次元環境地図作成機能

小型 UAV に搭載したカメラからステレオ視により3次元環境地図を作成する機能により、自機的位置、周囲の状況等を3次元的に確認することが可能となる。

(3) 擬似俯瞰画像作成機能

操縦画面において、後ろ上方から自機を見ているかのような擬似的な俯瞰画像(図2)を作成する機能により、操縦者は自機及びその周囲を確認しながら操縦することが可能となる。

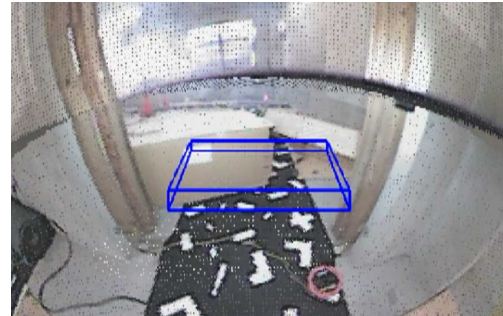


図2 自機及び周囲状況を操縦画面に表示(青枠が自機的位置を表す)

3. 試験

3.1 平成27年度実施の試験

(1) 実験室環境での機能・性能に関する試験

実験室環境において小型 UAV の基本的な機能及び性能を確認した。また、壁近傍では、小型 UAV 自らのプロペラにより発生させた下降気流も加わった乱流により壁への接触は避けられないものの、遠隔操縦を継続可能であることを確認した。

(2) 実環境での機能・性能に関する試験

陸上自衛隊の市街地訓練場において、小型 UAV を搭載した小型 UGV が建物内に進入、小型 UAV が小型 UGV から離陸、障害物によって閉塞された扉を通過して室内に進入、内部の状況を偵察、帰還、小型 UGV 上に着陸、といった偵察活動を想定したシナリオに沿った行動が可能であることを確認した。また、陸自隊員の協力を得て、見通し外の遠隔操縦に関する意見の聴取を実施し、飛行中にカメラ設定変更等の操作を行うには未だ課題があるものの、屋内でも操縦者の意図通りに飛行が可能である、等の意見を得た。

3.2 平成28年度実施の試験

原子炉建屋内等の災害現場を模擬したフィールドにおいて、小型 UAV の飛行性能等を確認し、情報収集任務等を想定したシナリオに基づいて操縦を行い、総合的な性能を評価する試験を行う計画である。試験場所として、東京電力福島第一原発の廃炉措置に向けた技術実証試験等にも使用される日本原子力研究開発機構櫛葉遠隔技術開発センターを計画している。

*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
ヒューマン・ロボット融合システム技術推進室

*2 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

漂流物を含む津波の陸上遡上流シミュレーション

○沖良篤*

1. 背景・目的

先般の東日本大震災の津波災害では、建物倒壊等に伴う瓦礫・漂流物衝突による人的・物的被害の拡大やライフラインの寸断が多数報告されており、防災計算力学分野において、文部科学省主管の学際的な大規模公募型共同研究を通じて、瓦礫・漂流物衝突の影響を考慮しなかった従来の被害推定方法が急ぎ見直されている。したがって、防衛省・自衛隊が大規模・特殊災害対処を円滑かつ適切に遂行するためには、より実情に即した被害推定は重要である。

そこで、先進技術推進センターでは、気液2相流解析と固体運動解析を連成させた漂流物を含む津波の陸上遡上流シミュレーションを実行して、その基礎となる漂流物衝突による衝撃力の定量的評価を行った。

2. 研究内容

本研究では大規模災害での自衛隊の災害派遣活動の事前検討ツールとしての活用を想定しており、限られた計算資源の下、精度よりも効率を重視して計算手法を取捨選択した。その結果、気液2相流解析には2流体モデルを、固体運動解析には離散要素法 (DEM: Discrete Element Method、粒子法の一手法) を各々選択して、気液固3相連成シミュレーションを実行することとした。

なお、2流体モデルの支配方程式系は、相変化がなく、一様温度場を前提条件としたので、エネルギー保存則は省略でき、質量保存則と運動量保存則のみとなる。この際、時間積分法には前進 Euler 法、空間積分法には構造格子型有限体積法、圧力解法には SMAC (Simplified Marker and Cell) 法を使用した。

気液2相流の乱流粘性の取り扱いとして、レイノルズ平均 (RANS: Reynolds Averaged Navier-Stokes) モデルが幾つか提案されているが、気液相間運動と乱流渦との相互作用に関するメカニズムが未解明で信頼性に乏しいため、本研究では採用しなかった。したがって、乱流粘性のモデル化はトータルの効率性を重視し、計算負荷の少ない気液2相流の代表長さスケールである Taylor 波長 (表面張力と浮力が釣り合う長さ) とドリフト速度 (静止水中の気泡上昇速度) を用いて行った。

本シミュレーションに使用した計算モデルとして、前方建物破壊 (図1参照) と堤防一部破壊の2ケースを設定した。

図2は前方建物 (木造) が破壊・衝突した場合の後方建物にかかる力の経時変化を示したものである。漂流物衝突による衝撃力に起因して、後方建物にかかる力は100倍程度の増加が生じ、これが被害拡大の要因の1つであると考えられる。また、堤防一部破壊も同様な結果が得られた。

従来の被害推定方法では無視していた漂流物衝突の影響が定量的に考慮できるので、本シミュレーションを実行することによって、過小評価していた被害推定をより現実に近いものとして予測可能となることが期待できる。この際、計算条件として、時間刻み幅は 10^{-3} sec、総格子点数は約16万点、総粒子数は600個であり、計算時間は約3時間 (Dell PowerEdge R620 の1コア使用) であった。

今後は市街地沿岸モデルを対象とした実用的な大規模環境シミュレーションを実行可能とするため、MPI (Message Passing Interface) 等の並列計算アルゴリズムを併せて検討する予定である。

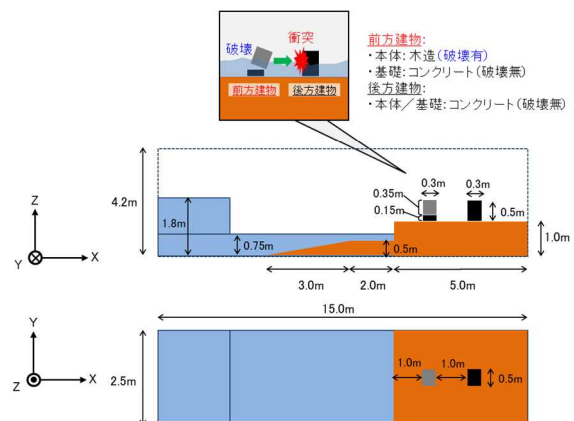


図1 計算モデル (前方建物破壊ケース)

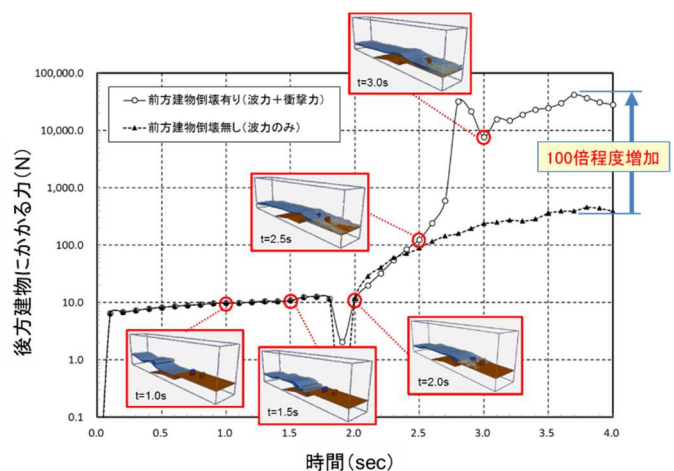


図2 計算結果 (前方建物破壊ケース)

*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

高速化光波ドーム及び多波長赤外線対応光波ドームの研究

○池上喜幸*、宮西智也*、山口裕之*

1. 背景

近年、我が国周辺において、高高度高速CM (Cruise Missile) 及びステルス機等の経空脅威が出現し、高性能化が図られつつある。

高速CM等の脅威は、雲や雨等の影響を受けない高高度での迎撃において、光波誘導弾による精密誘導が有効である。しかし、高高度の飛しょう(高速飛しょうとなる)における衝撃波等が光波ドームに生じるため、従来の光波誘導弾では対処ができない。

また、ステルス機は、電波による探知を困難にしているが、赤外線放射を大幅に抑制していないため、光波誘導弾での対処が可能である。しかし、フレアによる妨害の高性能化により、従来の光波誘導では対処することが困難である。

本研究では、上記の脅威に対処が可能な光波誘導弾の実現に向けた要素研究を行うものである(図1参照)。

2. 目的

本研究では、高速飛しょうにおける衝撃波発生環境時での光波誘導を可能とすること、及び、光波シーカの多波長化による上記妨害への対処を可能とさせることを踏まえ、高速飛しょう光波ドーム及び中波長～長波長帯の多波長赤外線センサ対応の光波ドーム及びの実現を目指すことを目的とする。

3. 対空誘導弾高速化光波ドームの研究概要

高速飛しょうの光波ドームでは、飛しょう体の光波ドーム(先端)周辺に発生する衝撃波に起因した空気密度分布により、目標の放射する赤外線がウィンドウ到達までに屈折し(光路歪みが発生し)、目標追尾に影響を与える。これについて検討を実施した(図2参照)。同時に、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。

多波長赤外線センサ対応の光波ドームでは、中波長・長波長赤外光の透過率を計測し、所望の要求を満たすための検討・検証を実施した(図3参照)。

なお、これらの試験の中で得られた結果は、ポスターセッションの中で紹介する。

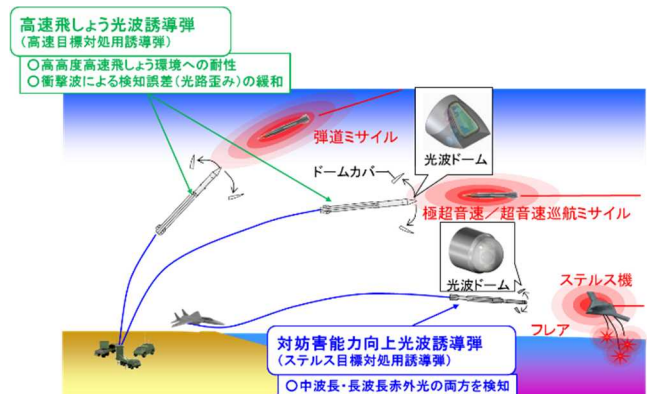


図1 運用構想

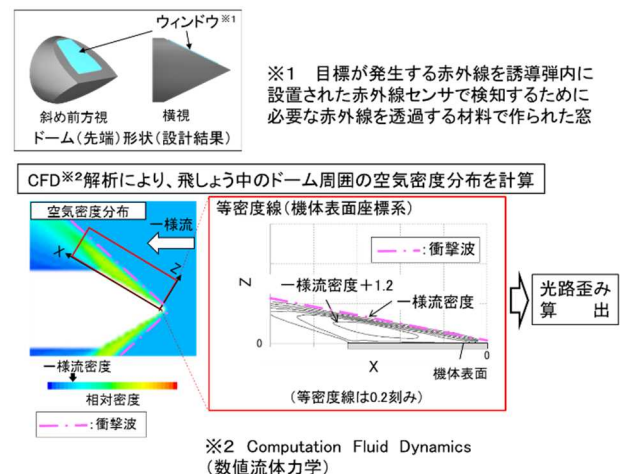


図2 高速飛しょう光波ドームの検討一例

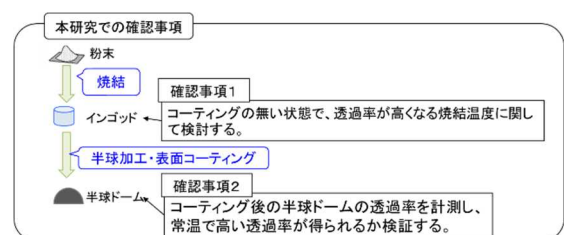


図3 多波長赤外線対応光波ドームの検討一例