最近のメタマテリアルの研究動向と自動車への応用

佐藤和夫

((株)豊田中央研究所 情報エレクトロニクス研究部 電波応用研究室)

本研究の特徴

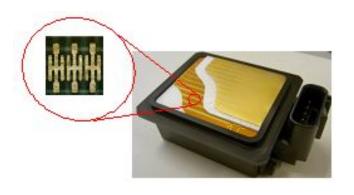
メタマテリアルを用いることで、広角に電子スキャンできる車載センシング装置

本研究の概要

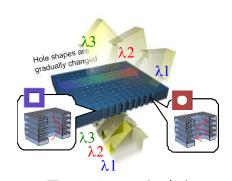
メタマテリアルは、自然界にはない優れた特性を示す人工材料である。特に、近年、負の誘電率と透磁率を有する人工的に作られた材料が注目されている。これら材料は誘電体もしくは磁性体の中に金属導体を配列して構成され、従来とは反対の電磁気特性を示す。最近の研究では、このような物理現象の証明だけではなく、メタマテリアルの構造設計技術、マイクロ波・ミリ波帯でのコンポーネント、光領域におけるデバイスなどの開発が積極的に進められている。

これらの新しいメタマテリアルは、自動車レーダシステムや移動体通信システムのビーム走査アンテナシステム、電気自動車のための新しい磁性材料、EMC(電磁両立性)のための電磁波吸収・遮へい材料、そして、LED ヘッドランプやナイトビジョンなど、将来の自動車エレクトロニクス応用にとって大変に魅力があるものと言える。

本報告では、最近のメタマテリアル研究の動向と、豊田中央研究所におけるメタマテリアルに関する研究の取り組みとして、車載用レーダアンテナ(図1)や電子スキャンタイプの光デバイス(図2)など自動車への応用技術について述べる。



(図1 ミリ波レーダアンテナ)[1]



(図2電子スキャン光デバイス)[2]

参考文献

- [1] S. Matsuzawa, K. Sato, Y. Inoue and T. Nomura, "W-band Steerable Composite Right/left-handed Leaky Wave Antenna for Automobile Applications," IEICE Trans. Electron., vol.E89-C, no.9, pp1337-1344, Sept. 2006.
- [2] 佐藤和夫, 他 "ナノホールアレイを用いた負屈折平面プリズムの設計," 2010 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-1-159.

爆発物のトレース検出技術―その原理と応用―

高田 安章, 永野 久志, 橋本 雄一郎, 〇坂入 実 (株式会社日立製作所中央研究所)

本技術の特徴

手荷物や体,服などに付着する爆薬の痕跡(臭い,微粒子など)を発見する事で,重要施設への爆発物の持ち込みを防止する装置

本技術の概要

爆発物検出には、大きく、X線透過像により爆発物関連デバイスの形状を検出するバルク検出技術と、爆発物そのものの痕跡を検出するトレース検出技術がある、後者は、基本的に、わずかに残る爆発物をイオン化してそのイオンを検出する方法であるが、イオン検出法の相違により、大気中におけるイオンドリフトの違いによりイオンを分離して検出するイオンモビリティ法と、真空中で高周波電界によりイオンを分離して検出する質量分析法がある.

我々は、質量分析法の高感度性と高選択性に着目し、質量分析法を用いた爆発物探知システムの研究開発を進めている。この質量分析法では、横軸にイオンの質量数、縦軸にイオン強度を示すマススペクトルが得られ、観測されるマススペクトル中のイオンの質量数から、どのような爆発物が検出されたかを容易に推定することができる。この爆発物探知に応用したシステムでは、試料の導入、イオン化、質量分析、探知の判定というサイクルを連続して繰り返すことになる。また、試料の導入法を工夫することにより、様々な条件で、多様な爆発物に対応することが可能となる。

講演では、質量分析法による爆発物トレース検出システムの原理と最近の応用システム例について紹介する.

(本講演の一部は、文部科学省安全安心科学技術プロジェクトおよびJST科学技術 戦略推進費で実施されたものである.)

筋・骨格モデリングを用いた

ウエアラブルロボットスーツの効果検討の試み

〇 小林 龍生 (防衛医科大学校病院リハビリテーション部)

特徴

ウエアラブルロボットスーツは人が装着することにより障害された機能を補うべく 作製された機器で、現在既に大和ハウスにより「HAL」のレンタルが一般医療施設に 開始されている。筋・骨格モデリングシステムは身体動作時の身体内の応力解析を可能 にするシステムで防衛省技術研究本部先進技術推進センターに「SIMM」が導入され ている。

概要

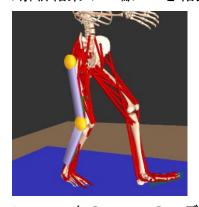
リハビリテーション部で扱う主な疾患に脳卒中、脊髄損傷、神経難病などがあり、四肢体幹の運動機能障害を生じる。最近進歩の目覚ましい遺伝子治療や再生医学が期待されるが現時点では有効な治療方法はない。残存した機能をいかに維持し有効利用しADLを拡大するかがリハビリテーションの目的である。リハビリテーションで用いる補装具としては杖、歩行器、車椅子、義手、義足などをはじめとして色々な機器が考案され利用されているが、ウエアラブルロボットスーツも有効な機器として期待される。筑波大学で開発された「HAL」は既に一般医療施設にレンタルが始まっている。また本田技研工業でも体重支持型の機器が開発されつつある。

一方、生体内の応力研究は実際の計測は道義上難しく、必然的に解析によるしかない。 複雑な生体内の応力解析を可能にするのがSIMMのような筋・骨格モデリングシステム でスポーツ医学での利用も可能である。上述したウエアラブルロボットスーツの効果判定 や改良に対するシミュレーションも行える可能性がある。

当部では昨年よりSIMMによるウエアラブルロボットス一ツの効果について検討を始めており、今年12月からは「HAL」の臨床調査も開始予定である。ウエアラブルロボットス一ツ、筋・骨格モデリングシステムおよびその解析結果の一端につき紹介する。



(図1 HAL)



(図2 SIMM上のHALのモデル化)

有機太陽電池

〇半田敬信 張ヶ谷浩一 (三菱化学株式会社・本社OPV事業推進室)

有機太陽電池の特徴

- ・形状自由度:フィルム形状で軽量を特徴とするので、曲面への取り付けが容易である。 さらに塗装ラインに組み込んで3次元曲面への形成が可能である
- ・色や柄の自由度:有機化合物なので色設計の自由度が高い、またインクジェット等の 印刷プロセスで形成できるので補助配線や直並列構造デザイン(柄)の自由度が高い

有機太陽電池研究の概要

現在の太陽電池においては、重い、割れる(ガラスの破片が出て危険)、嵩張るとの課題があった。本研究においては、フィルム形状の太陽電池を使うことで、軽量化、安全化(ガラス基板のように割れる材料を使っていない)、コンパクト(巻いて運べるのでコンパクトに収納)を実現することでこれらの課題を解決した。

しかしながら、フィルム形状の太陽電池においても、アモルファスシリコンを使用する場合は、色や柄に制約があり、必ずしも被探知性に優れている訳では無かった。ここで、さらに有機太陽電池(有機半導体)を使うことで色や柄の自由度が広がり周囲の景色に溶け込ませ(迷彩効果)、電磁波のプラズマ反射を押さえ込める可能性(ステルス可能性)を見出しつつある。

またフィルム形状太陽電池あるいは有機太陽電池の課題であると言われて来た、変換 効率の向上にも取り組んできた。

当日は、フィルム形状太陽電池の特徴と使用実績、有機太陽電池の特徴の説明、今後の研究方針や適用アプリケーションの可能性について説明する。



(図1 有機太陽電池のロードマップ)



(図2 フィルム基板太陽電池の適用事例))

M&Sが変える研究開発

〇小松 勝彦

(防衛省技術研究本部先進技術推進センター)

本研究の特徴

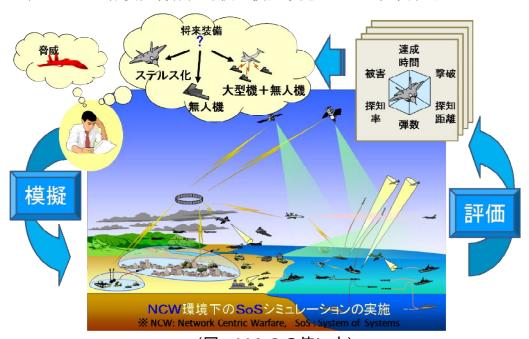
将来の装備品を構想検討する時に、陸海空で連携した装備システム全体の性能をもとに、個別装備システムの機能性能の最適化を検討できるM&S(Modeling&Simulation)

本研究の概要

装備システムがネットワークで連携し、統合的な能力を発揮する戦闘様相では、個々の装備システムの機能・性能を適切に設定することが難しくなってきている。特に将来の戦闘様相を想定した場合には、敵方の能力向上に合わせて、味方も新しい機能や性能を構想していくため、総合的な戦闘能力について見積もることが困難である。

現在、先進技術推進センターでは、将来の統合的戦闘状況をも模擬できるシミュレータを研究試作しその性能評価を実施している。このシミュレータによる検討の一例を図に示す。新たに予想される脅威に対してどのような機能・性能を有した将来装備を研究開発したら良いかを、将来装備品をモデル化しNCW環境下の戦闘場面を模擬した戦況の変化として評価することができる。標準的なパーツを組み合わせることによりモデル化ができるなど、汎用性を高めている。また、GUIやマウス操作を多用することにより操作性の向上を目指している。M&Sを使用することにより、より有効な装備品の機能や性能を策定することができるようになり、効果的、効率的な装備品の構想検討への活用が期待されている。

当日は、M&Sの概要、特徴、今後の使用予定について発表する.



(図 M&Sの使い方)

技本版 i f の世界

(先進技術が開く新たな戦い方)

〇小倉 潤, 佐藤 祐司, 片山 泰介, 鍵和田 元, 村松 修, 佐賀 実 (防衛省技術研究本部先進技術推進センター)

本発表の特徴

シミュレーション統合システムを用いて架空の部隊間での戦闘をシミュレーション した結果を示し、技術の差による戦闘様相への影響を明らかにすることで先進技術を装 備品に適用する効果を検証.

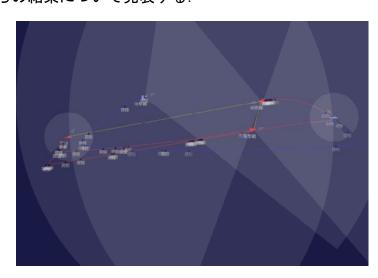
本発表の概要

科学技術の進展は、それまで優位であった装備品(兵器)の能力を相対的に低下させるのみならず、従来の装備システムや戦術の無力化等、戦略環境を根本的に変化させることがある。また近年では航空機などのプラットホームや搭載機器等の発展に止まらず、情報・通信技術の急速な発展を受けたネットワーク化も新たな戦い方として大きな影響を与えるようになっている。

このように、新たな技術の適用は戦闘様相を大きく変化させ得ることから、先進技術を装備品に適用した場合の効果を検証するため、先進技術推進センターで研究試作したシミュレーション統合システムを用いて、技術の差による戦闘様相への影響についてシミュレーションにより検討を行った.

この検討では、仮想的な戦闘状況を設定し、センシング技術等の分野において、これら技術の適用の有無が異なる部隊間での戦闘を行うことにより、先進技術を装備品に適用することの重要性を検証した.

当日は、これらの結果について発表する.



(図1 シミュレーションの一例)

勝敗の鍵はチームワーク(小型移動体の群制御)

〇鍵和田 元, 柳原 康生 (防衛省技術研究本部先進技術推進センター)

本研究の特徴

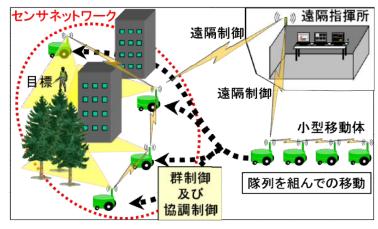
個々単独では高い機能を持たない多数の小型移動体を群制御及び協調制御することにより、低コストで偵察活動等に威力を発揮する小型移動体システム

本研究の概要

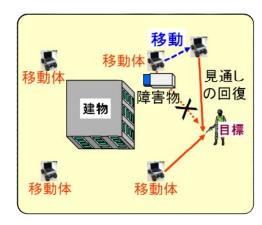
遮蔽物が多い市街地等においては、待ち伏せ等の脅威が予想され、これによる人的被害を低減するためには、これらの地域に進出する前に目標を確実に検知しておく必要がある。しかし、遠距離センサーで目標を検知することは、遮蔽物による死角が存在するため困難である。死角をなくし、目標の確実な検知を実現するためには、個々単独では高い機能を持たない多数の小型移動体を展開し、センサーネットワークを構築する方法(図 1)が有効であると考えられる。しかし、多数の小型移動体を遠隔指揮所から個別に遠隔制御することは、通信や信号処理能力等の制約から困難である。

このため、本研究は、各小型移動体が自律的に群れを作る群制御技術及び隣接する小型移動体間での限られた情報交換に基づく協調制御技術を活用し、死角の防止、目標の連続追尾、周辺環境の変化への対応能力(図 2)等を向上させつつ、各小型移動体と遠隔指揮所間の通信量を低減することを目指している。

当日は、多数の小型移動体の遠隔制御に関する研究構想として、偵察等のためのセンサーネットワークの全体構想及び今後の研究について発表する.







(図2 センサーネットワークの復旧)

声で判定、隊員のドキドキ

〇菊池 浩人, 大西 洋一, 柳原 康功, 塩塚 稔也, 齋藤 靖之, 長嶋 満宏 (防衛省技術研究本部先進技術推進センター)

本研究の特徴

隊員の身体に特別な計測装置を取り付けることなく、通常の無線交信でデータが得られる音声情報によって心身の状態を推定する方法

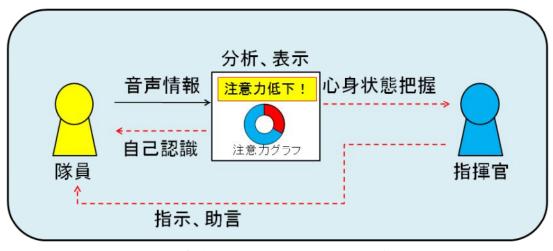
本研究の概要

1960年代以降,航空及び宇宙の分野では、パイロット等の心身の状態を音声指標で推定しようとする研究が行われ、様々なストレス下において、音声基本周波数が高いことが明らかになった。また、防衛及び法務の分野でも疲労、虚偽検出等を目的とした多くの研究がなされてきたが、音声指標については、脳波、心電図、皮膚電気反射等の生理指標ほど感度及び識別性が高いものは見いだされていない。

本研究の目的は、音声情報によって心身の状態を推定する方法を研究し、隊員の注意力、緊張度、感情、覚醒度及び疲労度等の心身の状態を指揮官が把握し、また、隊員自身に情報をフィードバックすることで、状況認識を向上させ、保有戦力の最大発揮及び安全確保につながる装備品開発の技術資料を得ることである。

研究の実施にあたっては、近年、航空自衛隊航空安全管理隊が実施した「操縦時のストレッサーがパイロットの音声及び自律神経応答へ及ぼす影響」の研究方法を基にワークロード評価に関するスウェーデンとの技術交流における情報交換を参考にしつつ、音声及び生理的データ等を収集、分析して、統計的手法により音声と自律神経応答等の関連性を明らかにする。

当日は,先行研究及び研究構想等について発表する.



(図 音声分析結果提示のイメージ)

科学技術者交流計画に基づく ネイティック兵士研究開発技術センターでの研究交流

〇樫本 薫(防衛省技術研究本部先進技術推進センター)

本研究の特徴

日米科学技術者交流計画(ESEP: Engineers and Scientists Exchange Program)に基づき米陸軍ネイティック兵士研究開発技術センター(NSRDEC)に約 18 ヶ月間滞在した.派遣先では、NBC 防護服(図 1)の構成品の一つであるゴム手袋を研究対象として.化学物質等に対する耐浸透性能の向上を目的とした研究を実施

本研究の概要

我が国を含めた諸外国では、NBC (Nuclear, Biological, Chemical) の脅威から身体を守るために図1のような個人用のNBC 防護服が使用されている。その構成品の一つであるゴム手袋は、化学剤等の危険物質が内部に浸透して肌に触れないよう厚手の構造をとっている。本研究は、ゴム手袋を薄型化して装着状態での小型機器等の操作性向上を目指した際においても防護性能が損なわれないような耐浸透性能の高いゴム材料について検討するものである。

図 2 に示すように、ゴム素材に微粒子を分散させると、内部を移動する化学物質の経路が複雑になるため、浸透に要する時間が増大し、耐浸透性能の向上が期待される.

本研究では、ESEPに基づいて派遣された NSRDEC において、微粒子を分散させたゴム材料を用いて試験片を作製し、内部を移動する化学物質の拡散係数の値を見積もることでゴム材料の耐浸透性能に関する検討を行った。

当日は、以上の研究内容について発表する.



(図1 NBC 防護服)

(図2 微粒子を分散させたゴム材料)

低RCS目標を見つける GaN 送受信モジュール

○入江寿憲 林寛貴 清水貴之 佐藤玲司 (防衛省技術研究本部電子装備研究所)

本研究の特徴

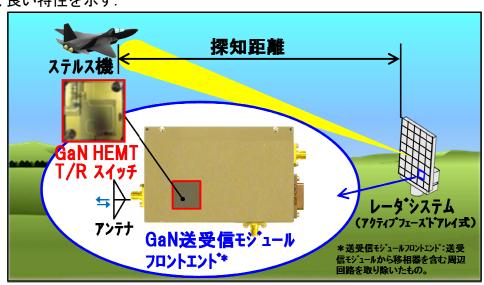
レーダシステムの性能に大きな影響を与える構成部位に送受信モジュールがある.本研究では将来の防衛用レーダへの適用を目的とし,高出力化が期待される GaN 半導体を用いて送受信モジュールの更なる高性能化を図った.

本研究の概要

将来の防衛用レーダに必要とされているステルス機等の低 RCS(Radar Cross Section:レーダ反射断面積)目標に対する探知能力を向上させる一つの方法として,送信電力を高くすることが検討されている.送信電力を高くすることは,高出力増幅器等に使用される半導体素子の性能に大きく依存するため,物理的特性に優れた GaN(Gallium Nitride:窒化ガリウム)半導体が有効である.送信電力の高出力化を実現する際に課題となるのが,送信電力を高くするために送受信間のアイソレーション^{*1}を高くすることと,アイソレーションを高くするために挿入する保護デバイスの挿入損失の低減である.送信電力を高くすること,アイソレーションを高くすること及び挿入したデバイスの損失を低くすることはトレードオフの関係にあるため,それらを最適化することにより送受信モジュールの性能向上が図れる.

本研究では送受信モジュールの更なる高性能化を目的とし、GaN 半導体を用いた高出力増幅器及び高アイソレーション化が期待できる GaN HEMT (High Electron Mobility Transistor: 高電子移動度トランジスタ) T/R (Transmit / Receive: 送受信) スイッチ等を適用した L 帯の GaN 送受信モジュールフロントエンド (図1) の作製を行い、その有効性について確認した。その結果、200[W]以上の高い送信電力において、約 40[dB]の高いアイソレーションと最大 0.6 [dB]の低い挿入損失及び GaN 送受信モジュールフロントエンドの小型・軽量化を図ることができた。当日は、GaN HEMT T/R スイッチのシミュレーション結果、GaN 送受信モジュールフロントエンドの実測結果、今後の研究について発表する。

*1 アイソレーション: 送信時に出る信号の漏れの程度. アイソレーション値は大きいほど漏れが少なく良い特性を示す.



(図 1 GaN 送受信モジュールフロントエンドの概要)

RCSの低減に寄与するメタマテリアルの研究

〇櫻井 宗晃, 北川 真也, 畑 貴將, 原崎 亜紀子 (防衛省技術研究本部電子装備研究所)

本材料の特徴

レーダ波を反射の法則に反して、任意の方向に反射制御する新素材

本研究の概要

将来、我が国で運用される戦闘機は、将来戦闘機ビジョンにおいて示されているように世界一の素材技術を活用して敵を凌駕するステルスを有することが求められる。本研究は、図1に示すメタマテリアル構造により、反射波の位相を制御して、正面方向への反射波を抑圧し、見かけ上のRCSを大きく低減させるものである。

メタマテリアルは金属などの小片からなる単位素子を、波長に比べ十分小さい間隔で並べて構成した人工媒質である。通常、金属面での反射では入射波に対する反射位相が180°反転する。これに対して、メタマテリアルはその入力周波数に応じて、反射位相を180°以外の位相に変化させることができる。具体的には、図1にあるように導体パッチの幅、隣接する導体パッチの間隔、誘電体基板の比誘電率等を変えることにより、局所的な反射位相が変化する。これを周期的に配置することにより、金属とは異なる反射波面を形成することで金属とは異なる反射が実現可能となる。

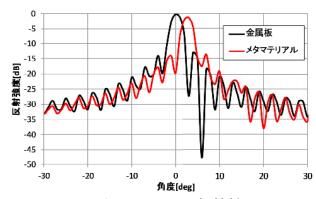
本研究では3種類のメタマテリアル基板(それぞれモノスタティック反射計測において、正面方向が第1ヌルで極小となる特性、約15°方向の反射が最大となる特性、左右約10°の反射が最大となる特性)を仮作して、反射特性について電磁解析シミュレーションを行うとともに、コンパクトレンジを使用して実測を行った。正面方向への反射が極小となるメタマテリアル基板の計測結果を図2に示す。

反射位相は入力周波数に依存するため、メタマテリアル基板は特定の周波数に対して設計が行われるものの、周波数特性を計測した結果、X 帯の入射波に対して数 100MHz の許容性があることがわかった。

当日は、反射位相制御の原理、仮作基板の評価結果、今後の研究について発表する.



(図1メタマテリアル構造)



(図 2 モノスタティック反射特性(10GHz))

目標が動いているときの RCS を見極めるために

〇松林 一也 1, 伊藤 敏晴 1 (防衛省技術研究本部電子装備研究所 1)

本研究の特徴

姿勢角が動的に変化する目標における RCS 特性の基礎的検討

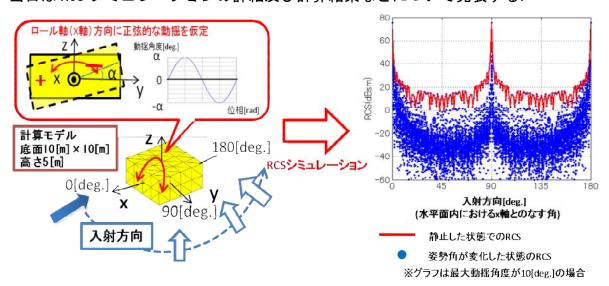
本研究の概要

近年米国の F-117 攻撃機やズムウォルト級駆逐艦を始め、各国においてステルス装備品の開発及び研究が盛んに実施されている. RCS (Radar Cross Section: レーダ反射断面積) の低減を達成するためには、開発及び設計の段階からの対策が必要であり、RCS 特性の評価はステルス装備品を開発する上で必要不可欠となっている.

実際に運用している航空機や艦艇等の目標においては、レーダとの相対角度や相対位置等により、これら目標の RCS の値は大きく変動する。そのため、目標が静止している場合のみならず、目標が動的に変化した場合の RCS 特性を把握することが、実際の運用状態でのステルス性を評価する上で非常に重要である。

本研究では、動的に変化する目標の RCS 特性の初期的な検討として、正弦的なロール運動をする目標における水平面内の RCS について、PO 法(Physical Optics:物理光学法)を用いた解析を実施した。結果として、姿勢角が動的に変化する目標の RCS 特性は、静止した状態の RCS 特性とは大きく異なった特性を有する可能性があることが確認できた

当日は RCS シミュレーションの詳細及び計算結果などについて発表する.



(図1目標の簡易的な動揺を考慮したRCSシミュレーション結果の例)