



新たな素材等を活用した 先進的な迷彩技術に関する研究

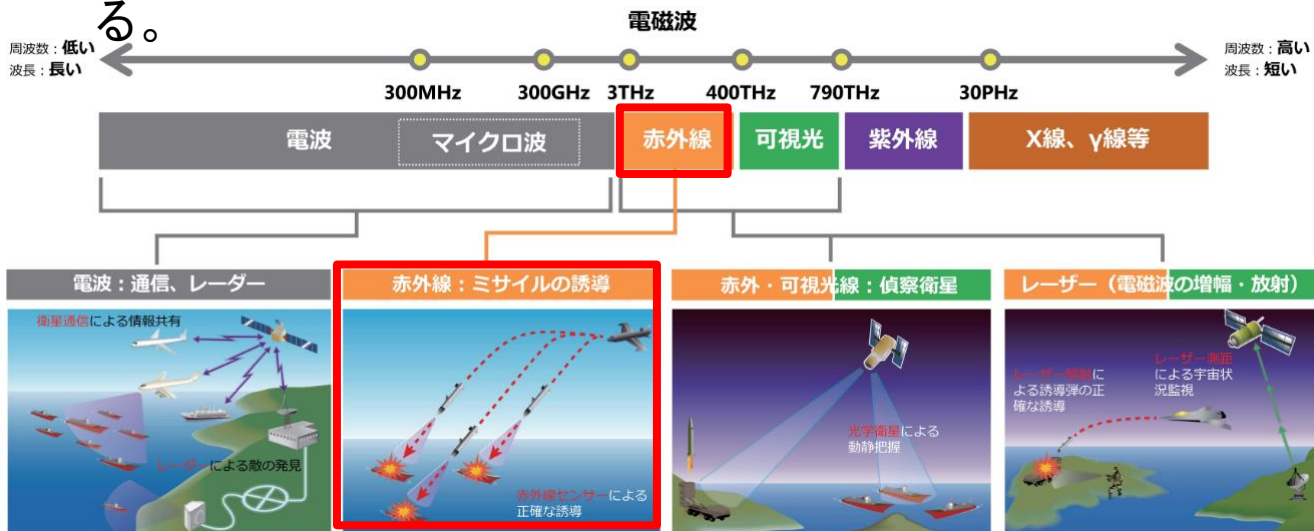
防衛装備庁
次世代装備研究所
先進技術研究部
情報収集機能研究室

- ・背景
- ・新たな素材（表面微細構造フィルム）の検討
- ・新たな素材（空孔導入セラミックス）の検討
- ・新素材も活用した迷彩によるAI画像探知に対する欺まん効果の検討
- ・まとめ

背景(1/2)

電波・赤外線・可視光等電磁波による観測に対し、様々な対策が実施されてい

る。



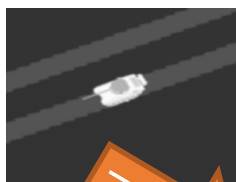
低レーダー反射断面積 (対電波)



迷彩 (対可視光)

対策

赤外線は分解能に優れ、暗闇でも温度差等で識別可能なため、幅広く利用されている。特にシーカ等はこの特性を活かし、赤外線の高輝度目標画像の二値化・輪郭抽出等により探知するため、我は熱源の隠蔽等による対策が必要である。



二値化



通常目標の例

対策

標的を相対的に低輝度化



偽装網

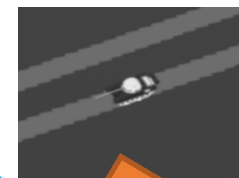


フレア



ステルスインテークダクト

隠蔽



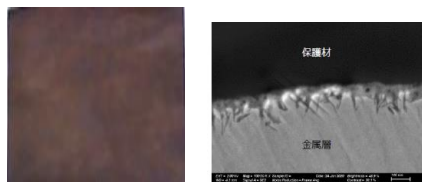
二値化



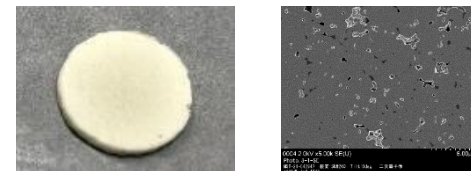
低輝度目標の例

本研究では、応用範囲の広い赤外線探知に対してさらなる隠蔽による低輝度化を実現するため、民生先進技術による“新たな素材”の活用に着手

従来にない光波物性をもつ素材
(民生技術)について、特性及び
耐環境性の確認



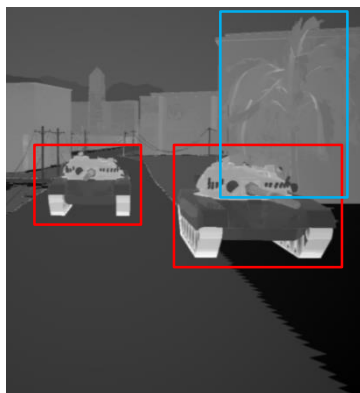
表面微細構造フィルム



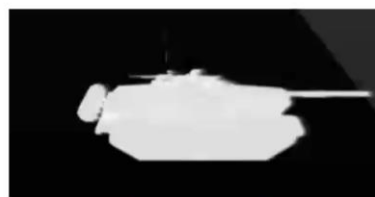
空孔導入セラミックス

更に、低輝度化のみでは対応しきれない将来のAI等による画像認識への対策のため、新素材も活用した迷彩によるAI画像探知に対する欺まん技術について検討

新たな素材を利用してAI対策を実現させる手法をシミュレート



対策



欺まん



赤外線画像

(図はイメージ) (右) 誤分類誘発用 (車→人)



AI対策が期待できる
ダズル迷彩の例



敵対的パッチの例

(左) 検出回避 (車)



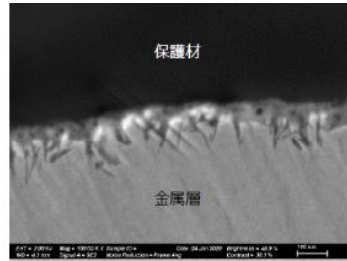
(右) 誤分類誘発用 (車→人)

AI等による高度な画像解析技術の普及

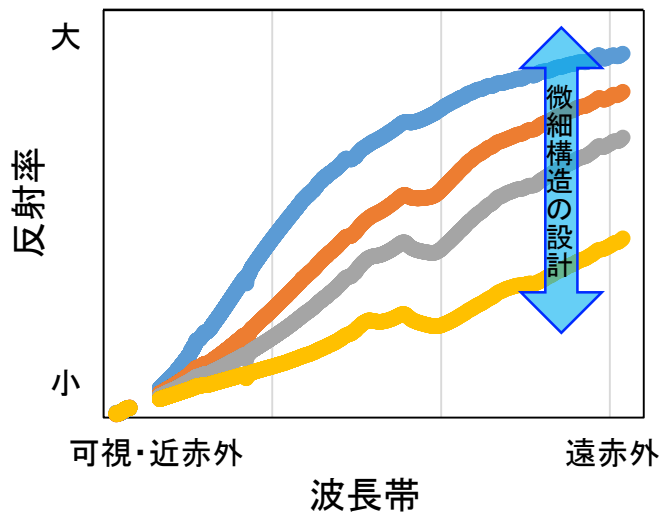
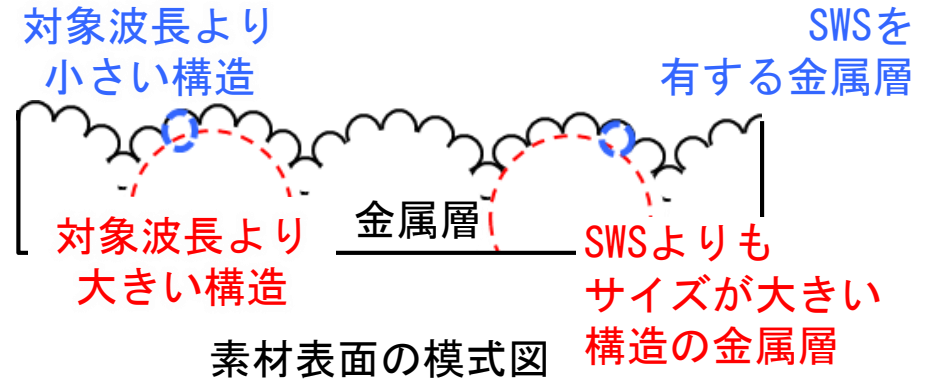
金属フィルムの表面荒さと最大高さを設計し、反射率を調整



素材の可視光画像



素材断面のSEM像



フィルムの反射率

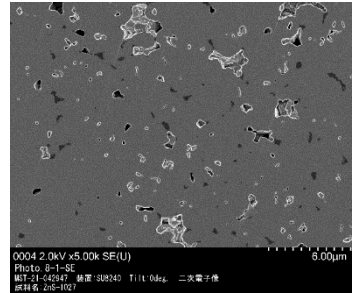
- 市販品の赤外線光学系の内部材として開発された素材。
- SWS（サブ波長構造）より大きい表面微細構造により、遠赤外域の反射率を調整できる。
- 表面微細構造を有するが、一定の機械的強度がある。
- 耐環境性（高温高湿、光、摩耗）がある。

光学的特性、耐久性
→ シミュレーション（後述）
する素材の特性に反映

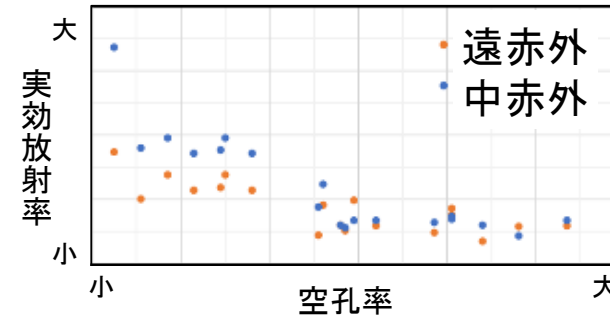
本来は赤外域で透明なセラミックスに空孔を入れることで、反射、散乱等を制御



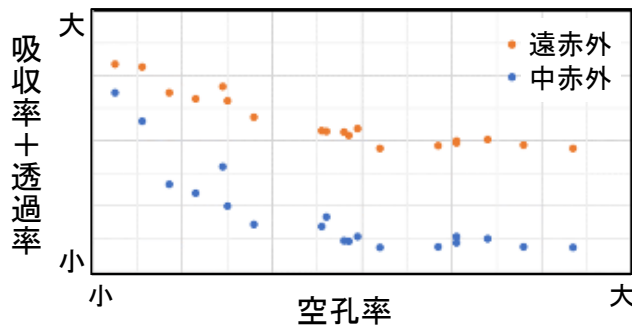
素材の可視光画像



表面のSEM像



実効放射率vs空孔率



吸収率と透過率の和vs空孔率

- 光波ドーム材として開発されていた赤外線透過性のある素材。ZnS（硫化亜鉛）を原料としたセラミックス素材で、一定の耐熱性がある。
- 製造時に圧力等をコントロールすることで空孔率を変化させ、反射、散乱の大きさを調整できる。
- 運用に要する耐環境性（耐光、耐久性）を有する。

赤外線放射率を低～高まで変更/調整可能。一定の耐久性、高温耐性を確認

我を探知する側で用いられるアルゴリズムは不明
→ アルゴリズムの相違に着目

“新たな素材” の特性を活用し、赤外線画像探知から回避

⇒ シミュレーションにより様々な迷彩及び背景条件での欺まん効果を検討

- ① 探知モデルの仮作：迷彩のない車両モデルに対する探知モデルを仮作
 - ② 迷彩候補の抽出：仮作探知モデルに対して欺まん効果のある迷彩を探索・抽出
 - ③ 背景の影響の少ない迷彩抽出：抽出された迷彩と複数の背景で、欺まん効果の汎用性を評価
 - ④ アルゴリズムの比較：汎用性のある迷彩について、他のアルゴリズムの探知モデルと比較
- 異なるアルゴリズムに対して共通的に車両の被検出率を低下させる迷彩について考察

【学習・検証】学習画像に写った車両から特徴量を抽出し、検証画像に写った車両を精度よく検出する学習器を構築する。

【探索】迷彩を施した車両を探索背景で走行させ、AIによって車両を検出し、検出率をもとに迷彩を変化させることで欺まん効果の精度を上げていく。

【評価】創出した迷彩を施した車両を評価背景で走行させ、その欺まん効果を確認する。



① 探知モデルの仮作

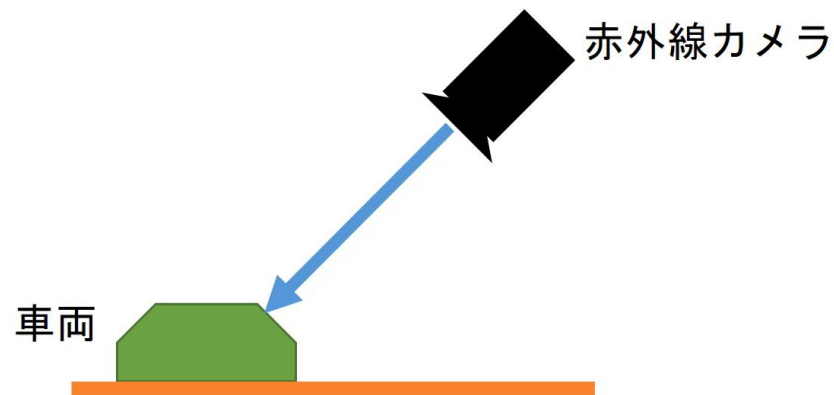
AI画像探知に対する欺まん効果の検討

シナリオ設定

一例として、地上目標が対地ミサイルの赤外線シーカによって照準されるシナリオを設定し、シミュレーターを用いて、赤外迷彩（放射率の違いによって赤外線画像中で迷彩となる）の探索を実施した。

学習

赤外迷彩を施していない車両（シーカ画像サンプルを参照し作成）を学習画像に用いて、車両を検出するAI（アルゴリズムはYOLOv5を使用）を作成した。



学習画像
複雑背景 3種
10000枚



検証画像
単純背景 1種
500枚

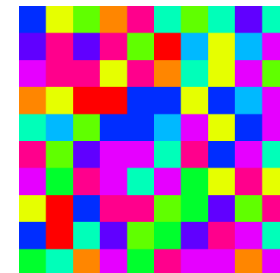


② 迷彩候補の抽出(1/3)

対赤外線線の迷彩の生成方法

AI画像探知に対する欺まん効果の検討

- 素材の光学的特性を踏まえ、0から1まで0.1刻みで11種類の放射率のパッチを用いることとし、放射率の平均値が0.5以上となるように100個選択
- 選択した100個のパッチを10×10の100マスに当てはめ、車両に貼付



4×4の16マスの迷彩放射率データで例示してみる。

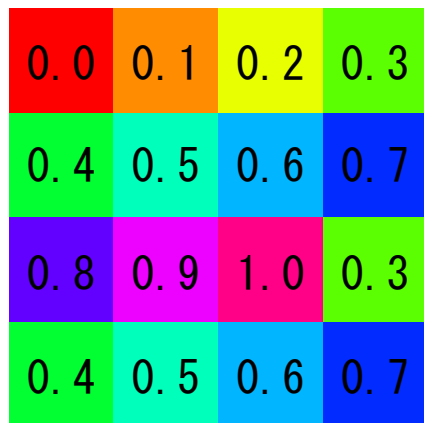
→視覚的に分かりやすいように、各放射率にそれぞれ異なる色を付けて示す。

1. 全てのマスに放射率パッチを割り当てる。（本例では16個の放射率を指定し、平均放射率は0.5）

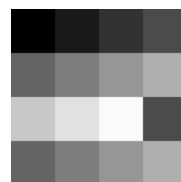


2. 4×4に整列

3. 車両のテクスチャの各位置（uv座標）に対応させる。



赤外線画像



※後のスライドではモノトーンで表示する。

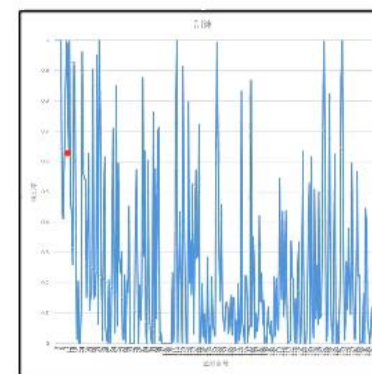
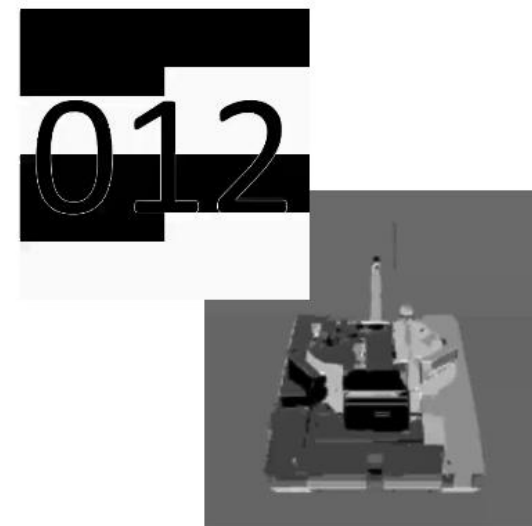
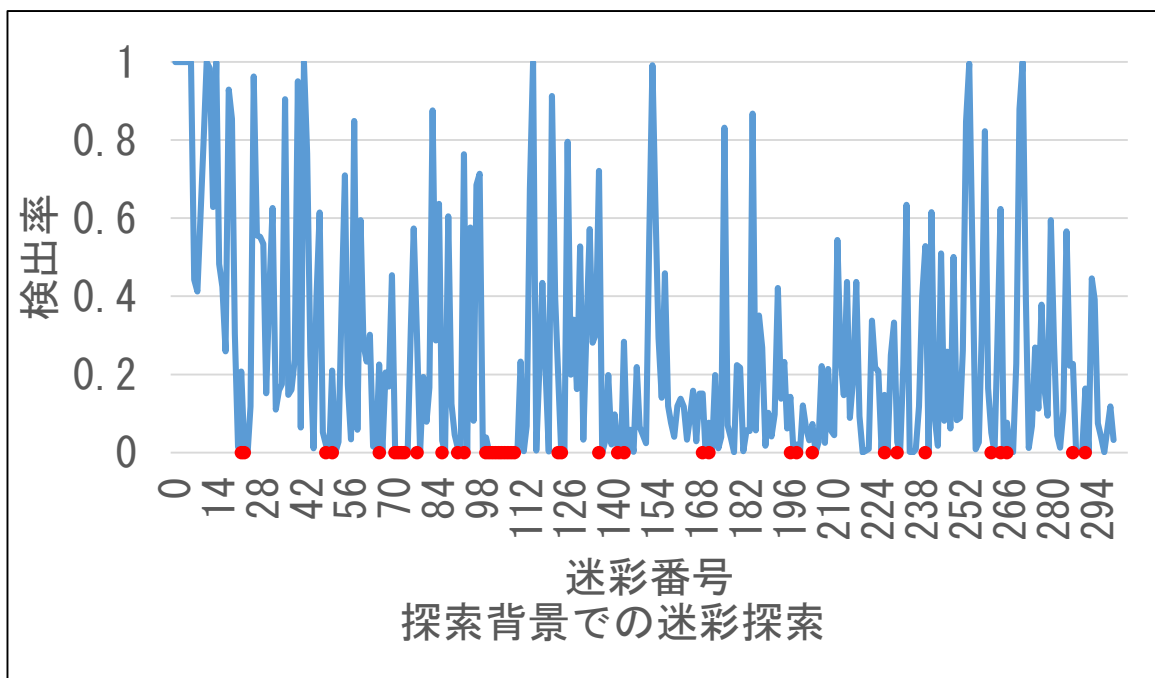
解の探索

AI画像探知に対する欺まん効果の検討

探索背景（単純背景1種、2000枚）で学習器による検出率を調べた。

「検出率(y)」を「100個の放射率(x_1, x_2, \dots, x_{100})」の関数とみなし($y = f(x_1, x_2, \dots, x_{100})$)、検出率が0に向かうようにベイズ最適化で100個の放射率（ただし平均放射率 ≥ 0.5 ）を探索した。

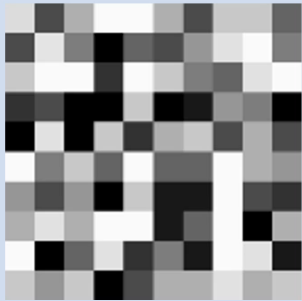
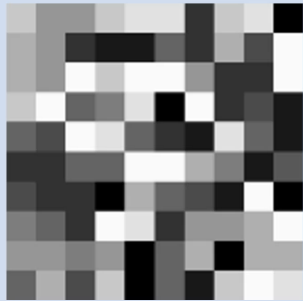
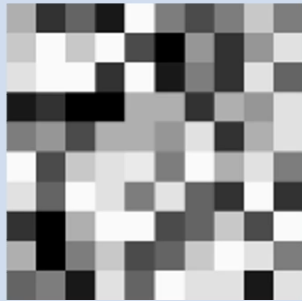
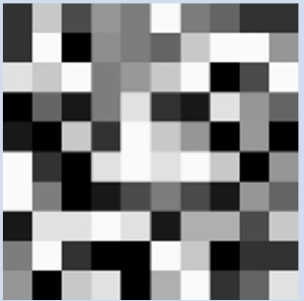
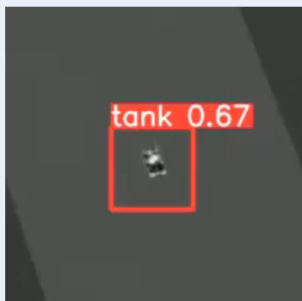



これを繰り返し300種の迷彩が探索され、そのうち41種で検出率が0であった。



迷彩のベイズ最適化

探索結果の例

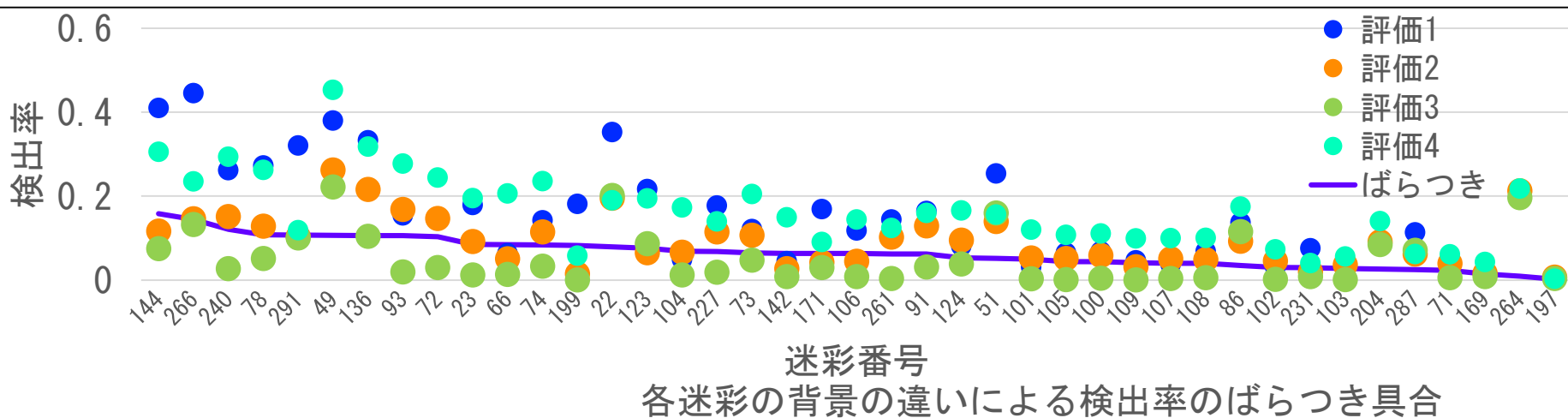
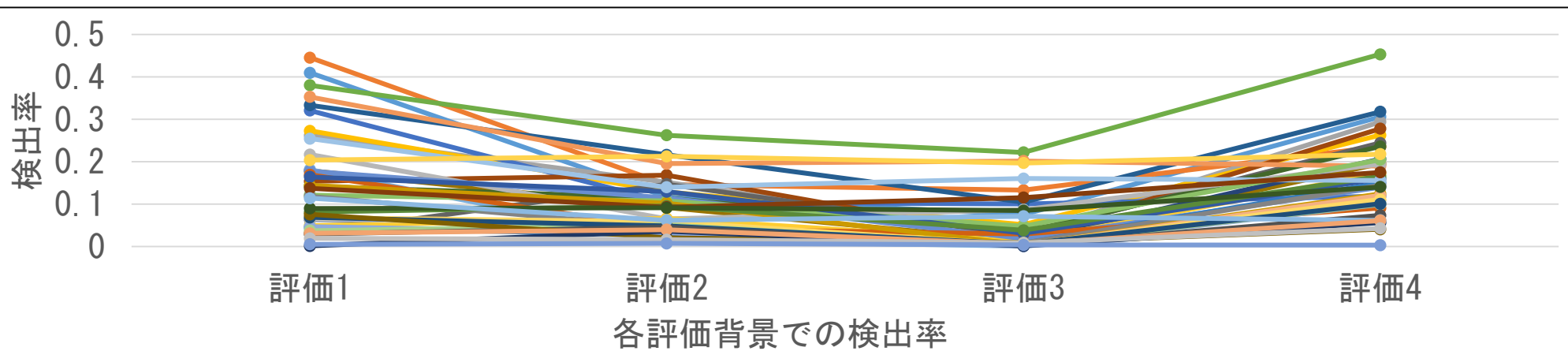
似たような迷彩だとしても、検出率は全く異なることを確認

迷彩番号 (検出率)	No.270 (100%)	No.129 (52.75%)	No.274 (26.9%)	No.49 (0%)
迷彩放射率データ				
検出画像				

背景の違いの比較

AI画像探知に対する欺まん効果の検討

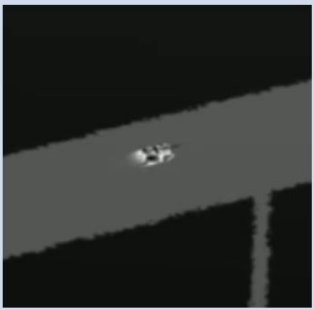

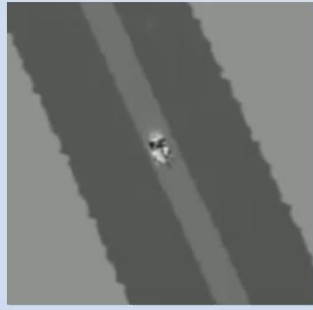

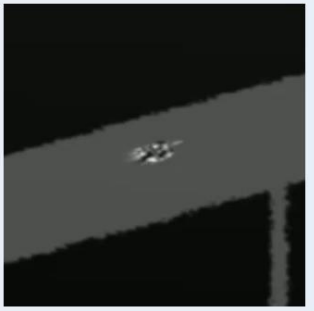

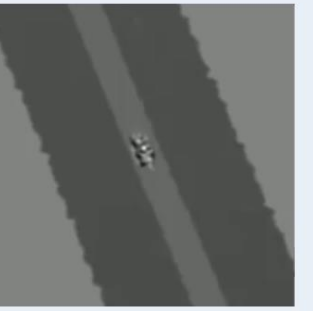

探索背景で検出率0となった41種の迷彩について、評価背景（単純背景4種、各2000枚）における検出率を調査



効果の比較例

AI画像探知に対する欺まん効果の検討

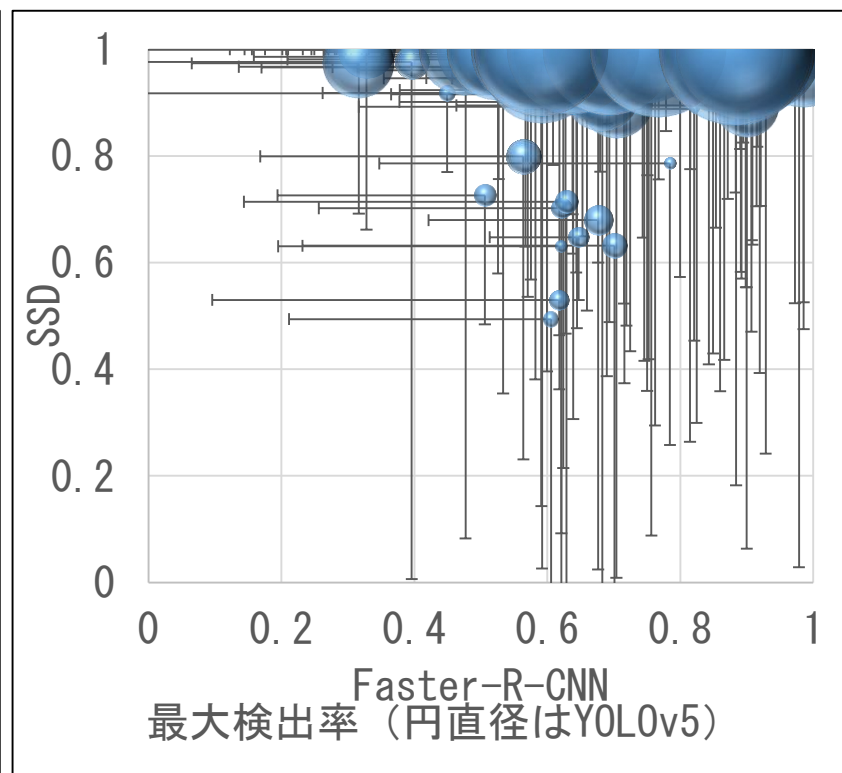
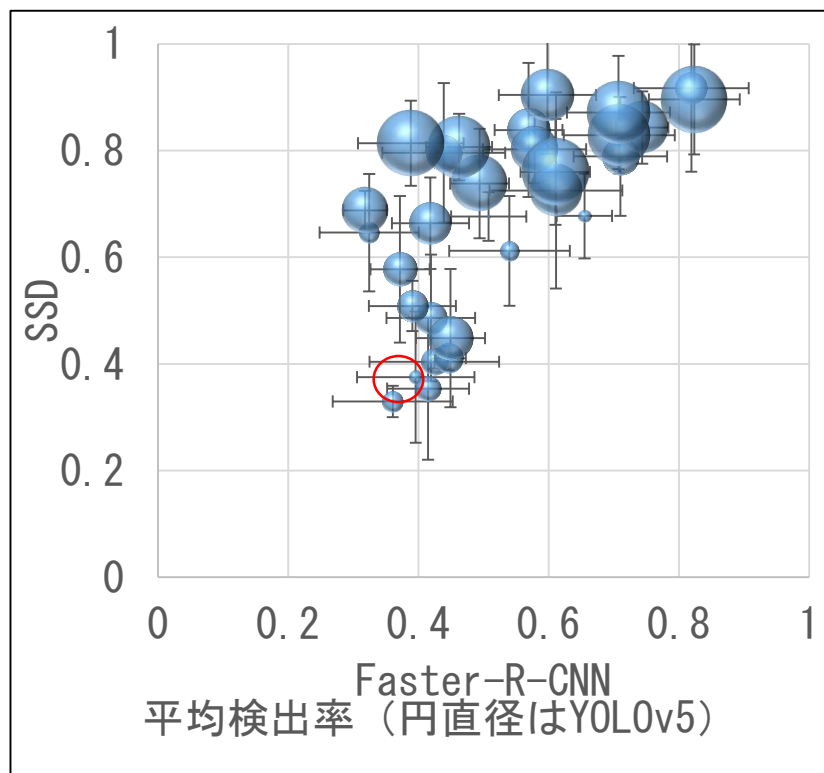
約 7×10^{103} 種 ($11^{100}/2$) の中から300種の迷彩を試行し、背景依存の少ない迷彩を抽出

評価番号	No.1	No.2	No.3	No.4
迷彩番号144				
(検出率)	(40.95%)	(11.65%)	(7.5%)	(30.55%)
迷彩番号197				
(検出率)	(0.5%)	(0.7%)	(0.35%)	(0.3%)

④ アルゴリズムの比較

AI画像探知に対する欺まん効果の検討

YOLOv5に対して適応させた赤外迷彩について、Faster-R-CNN及びSSDに対する欺まん効果を確認。



アルゴリズムにより、検出率の順序の逆転するケースは見られたが、概ね類似した傾向
→ 一定の検出率の範囲に複数のアルゴリズムに共通的な解を見出し得る見込み

【新たな素材】

- ・ 表面微細構造フィルム

一定の耐環境性を有しつつ、幅広い赤外線放射率を設計可能

- ・ 空孔導入セラミックス

耐熱性等を有し、一定範囲の赤外線放射率を調整可能

【新素材も活用した迷彩によるAI画像探知に対する欺まん効果の検討】

複数の背景及びアルゴリズムに対して、一定の共通的な欺まん効果を有する赤外迷彩の生成可能性の見込み

今後、複数アルゴリズムの同時最適化、他のシナリオ設定等を検討予定