

見えない情報を見える化する スマート暗視センサの飛行試験成果について

Flight test results of advanced night-vision sensor

2023年3月

防衛装備庁 次世代装備研究所
センサ研究部 光波センサ研究室

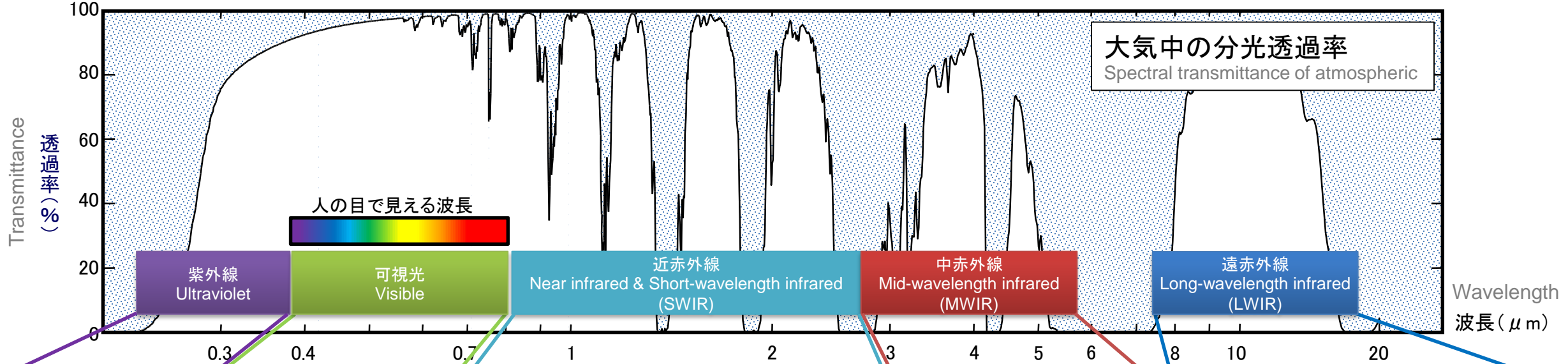
小林 真吾

Kobayashi, Shingo

Optical Sensors Research Section, Sensors Research Division,
Future Capabilities Development Center, Acquisition, Technology & Logistics Agency

■ 防衛分野では、各波長特性に応じて様々な用途で光波センサが利用されている

In the defense field, optical sensors are used in various applications depending on characteristics of each wavelength.



自己防御装置
(地対空ミサイル探知)
Surface-to-air missile detection

昼間の偵察監視
Daytime reconnaissance and surveillance

遠方目標 Distant target

パッシブ Passive

- 夜間の偵察監視
- 操縦支援

Nighttime reconnaissance, surveillance and pilot support

アクティブ Active

- レーザーによる照準
- 距離画像の生成

Aiming with a laser and generating range image

高温多湿環境に優位

- 高温目標 (ブルーム等)
- ミサイル探知

Superior in hot and humid environments, hot targets and missile detection

ロケット Rocket

低温乾燥環境に優位

- 低温目標 (航空機等)
- 広覆域搜索

Superior in low-temperature dry environments, low-temperature targets and wide-coverage searches

飛行機 Airplane

各波長の特徴と活用例 Characteristics and application examples

■エアロゾル(もや)に対する透過性 Transparency in the aerosol

- 可視に比べて波長が長いので、粒径の小さい成分による視程の減衰を受けにくい

Since the wavelength is longer than that of visible rays, visibility cannot be attenuated by small particles.

- 右図のように50km(走水～スカイツリー間)遠方も撮像可能
Capable of taking the TOKYO SKYTREE image at a distance of 50km.



Map data ©2023 Google



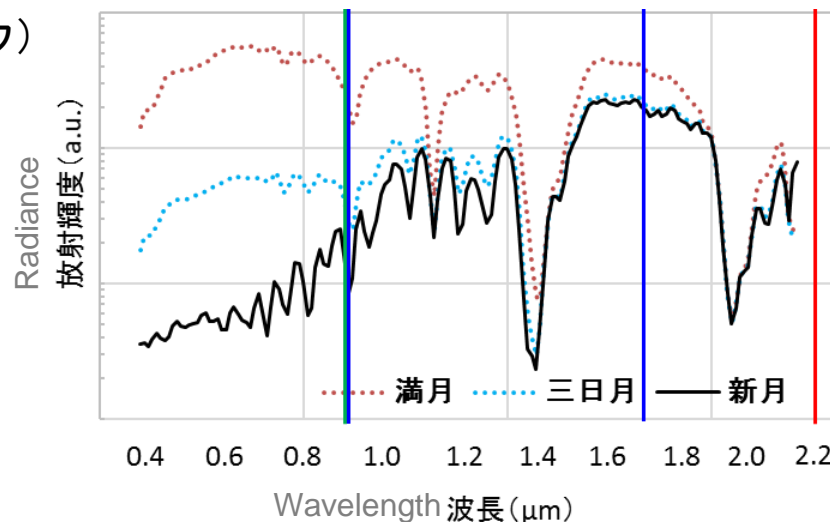
■夜間における撮像性能 Imaging performance at night

- 赤外帯域では夜間に発光している大気光(ナイトグロウ)を活用し視認性を得ることができる

The visibility in the SWIR band can be gained by night glow.

- 月齢に関係なく光量を確保が可能

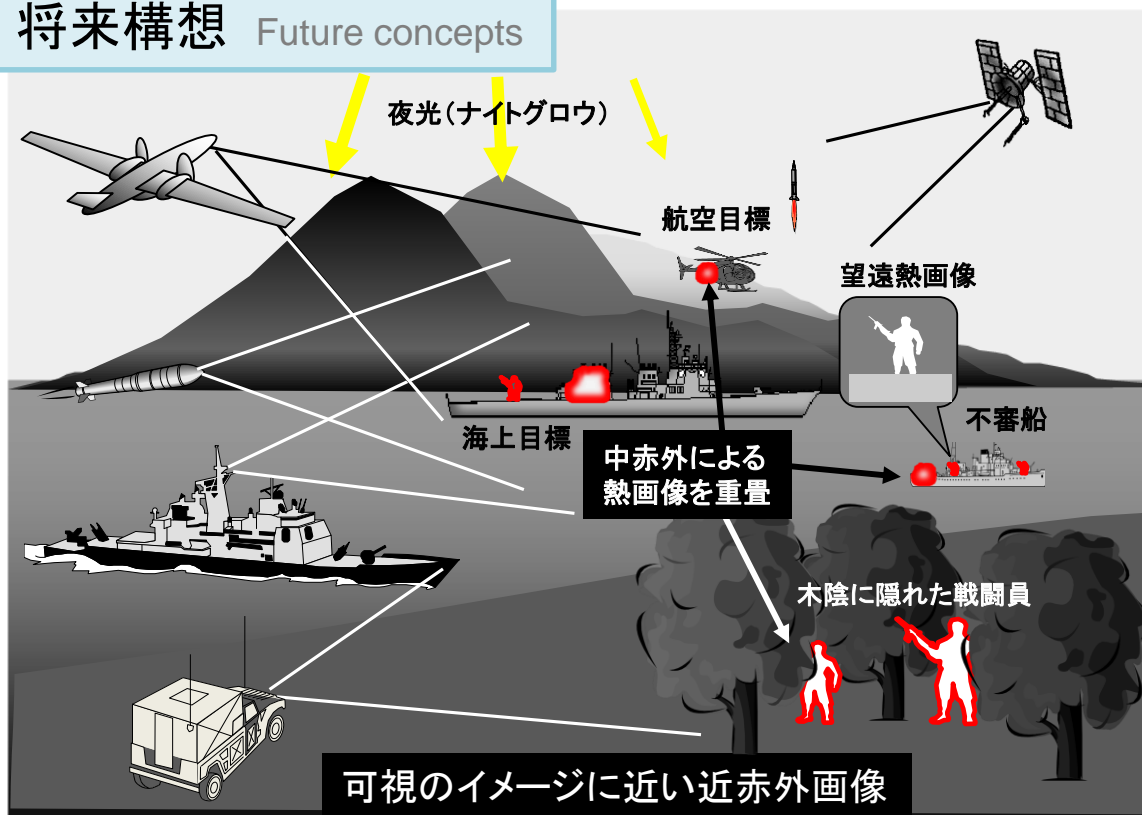
Because the night glow illuminates the ground without moonlight.



研究の概要 Overview

- 月明かりの無い野外環境においてもナイトグロウ検知により可視イメージに近い近赤外画像を得る
SWIR images close to VIS images are taken by detecting night glow in an outdoor environment with out moonlight.
- 遠方の目標を検知可能な中赤外画像を取得すると共に、融合処理により目標識別能力の向上が見込まれる暗視装置に関する技術確立する
Establish night vision device technologies that are expected to improve target identification with SWIR and MWIR image fusion.

将来構想 Future concepts



ナイトグロウとは What is night glow ?

□ 日中に太陽からの紫外線を吸収し、励起状態になった大気が、夜間に基底状態に戻る際に発する光のこと。

The night glow is due to OH molecule radiation after exciting its state by absorbing the ultraviolet rays from sun.



宇宙から見たナイトグロウ
Night glow seen from space

紫外線(太陽)

$$H_2O \xrightarrow{\text{紫外線(太陽)}} H + OH$$

$$OH + O_2 \rightarrow OH^+ + O_2 \rightarrow OH + O_2$$

$$O_2 + O_2^+ \rightarrow O_3 + O$$

↑ 紫外線(太陽)

近赤外線放射(ナイトグロウ)

出典: NASA Image and Video Library (<https://images.nasa.gov>)

■ 近赤外線センサ Short-wave infrared sensor

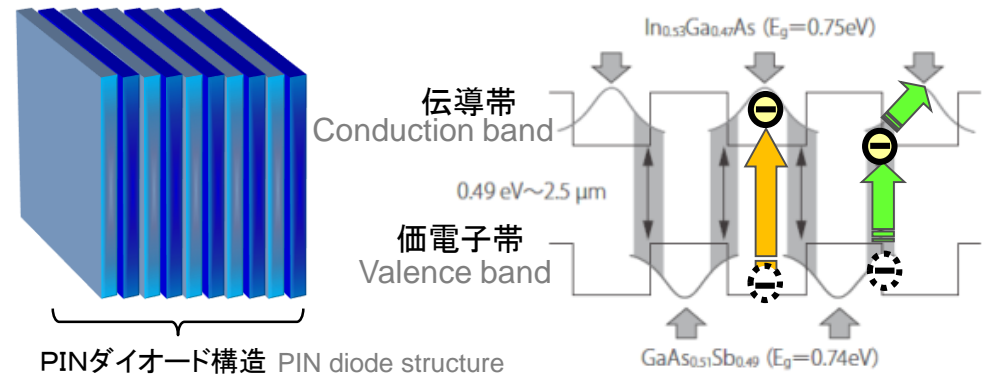
ナイトグロウを検知可能な高感度かつ低ノイズなセンサを実現
Prototype of high-sensitivity and low-noise sensor capable of detecting nightglow



- 検知波長: $1 \sim 2.2 \mu\text{m}$
Wavelength range
- 画素数: 640×512 画素
Image format

近赤外線センサの原理と特徴

Photoelectric conversion principle of the SWIR sensor



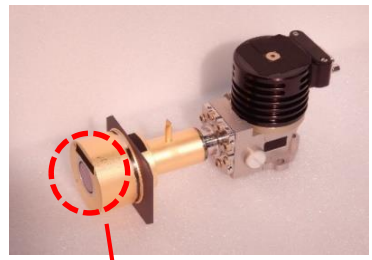
PINダイオード構造 PIN diode structure

- InGaAs層の吸収により近赤外線を検知
Detects SWIR rays by absorption of InGaAs layer
- 波動関数の重なり部分による近赤外線の検知方式により検知波長を延伸
Extending the detection wavelength by overlapping wave functions

■ 中赤外線センサ Mid-wave infrared sensor

高温動作可能なセンサを実現
Prototype of the sensor that can operate at high temperatures

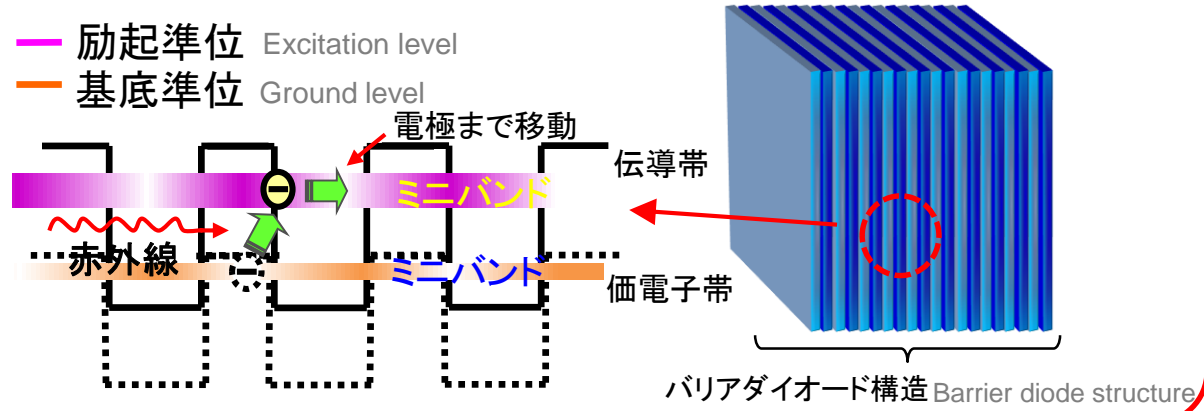
- 検知波長: $3 \sim 5 \mu\text{m}$
Wavelength range
- 画素数: 640×512 画素
Image format
- 動作温度: 100 K
Operating temperature



中赤外線センサの原理と特徴

Photoelectric conversion principle of the MWIR sensor

- 薄層化により複数層に波動関数が重なりミニバンドを形成
By thinning the layers, wave functions overlap multiple layers to form mini-bands.
- ミニバンド間の遷移により光を検知
Detect MWIR rays by transitions between mini-bands.



バリアダイオード構造 Barrier diode structure

■ 2波長(近赤外／中赤外)融合処理による視認性向上を検討 Consideration of visibility improvement by image fusion



可視 Visible image



近赤外線＋中赤外線
SWIR+MWIR

可視(昼) Visible (Day)



近赤外線(夜) SWIR (Night)



可視(夜) Visible (Night)



中赤外線(夜) MWIR (Night)

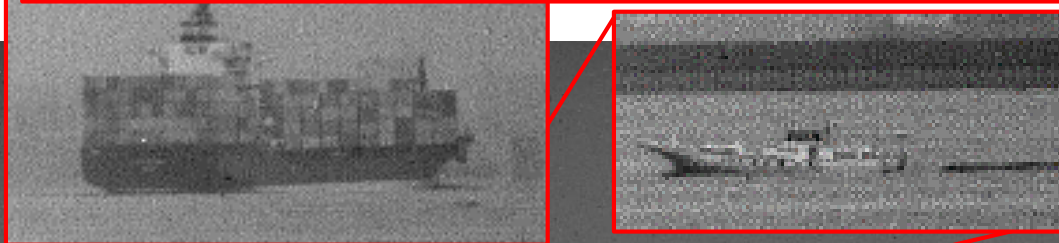


近赤外線＋中赤外線(夜)
SWIR+MWIR (Night)

■ 高精度な目標識別アルゴリズムの検討 Consideration of highly accurate target identification algorithm

中赤外線画像 MWIR image

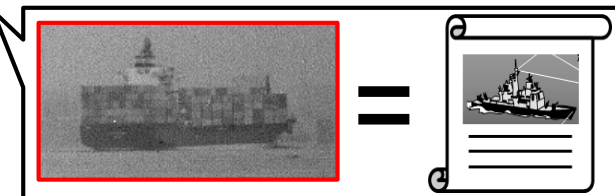
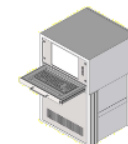
Step2: 近赤外線画像から目標の細部情報を取得
Obtain detailed information from SWIR images



Step3: 形状・船内の状況等から船舶を識別
Identify ships based on their shape and conditions etc.

Identify ships based on their shape and conditions etc.

Step1: 中赤外線画像を用いて熱源を探知
Detect heat sources using MWIR image



夜間状況認識技術の研究協力(2019~2022年度) Research cooperation on nighttime situational awareness technology



防衛装備庁

防衛装備庁(ATLA)

Acquisition, Technology & Logistics Agency

次世代装備研究所

Future Capabilities Development Center

スマート暗視センサの研究試作

Prototype of advanced night-vision sensor

⇒暗視センサ技術に関する研究

Research of night vision sensor technology

夜間でも視認性を確保できる高感度な近赤外線カメラと中赤外画像と融合することで目標識別能力を向上させる暗視装置の試作を実施。

To improve object recognition capability, we prototyped SWIR / MWIR sensors and research image fusion, identification algorithm.



宇宙航空研究開発機構(JAXA)

Japan Aerospace Exploration Agency



航空技術部門

Aeronautical Technology Directorate

SAVERH プロジェクト

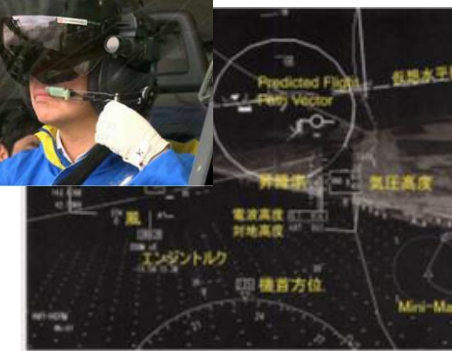
Situational Awareness and Visual Enhancer for Rescue Helicopter Project

⇒夜間状況認識支援技術に関する研究

Research of situational awareness aid technology by night vision

夜間などでも安全に飛行できるように、遠赤外線カメラ、NVセンサ映像をHMDに投影し、操縦支援を行う技術の検討・検証を実施。

To ensure safe flight at night, JAXA have been testing and evaluating technologies that project images from LWIR and night-vision sensors onto an HMD for piloting assistance.



■ スマート暗視センサの性能確認試験のうち飛行試験@北海道大樹町(2022年 10/6~11/2)

Flight test of advanced night-vision sensor performance test @ Taiki city, Hokkaido



出典: <https://www.town.taiki.hokkaido.jp/soshiki/kikaku.uchu/aerospace.html>

□ JAXAとの研究協力協定に基づき、共同で飛行試験を実施

Based on a research cooperation agreement with JAXA, we jointly conducted flight test.

JAXA: ヘリコプターの運航、HMDの調整・操作
Helicopter operation, HMD adjustment and operation

ATLA: センサ、ジンバル調整・操作 / 環境データの取得
Adjustment and operation of sensors and gimbals / Acquisition of environmental data

研究試作品 中赤外線センサ
比較用 近赤外線センサ

研究試作品 近赤外線センサ
比較用 中赤外線センサ

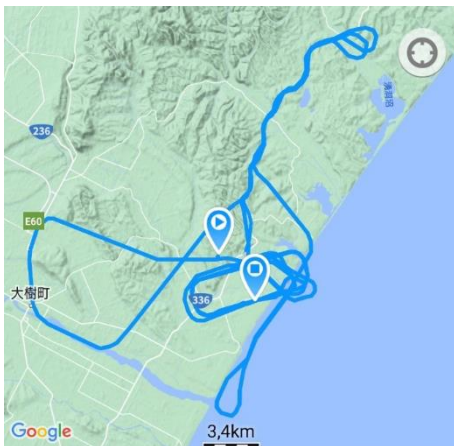
10月/1w	10月/2w	10月/3w	10月/4w	10月/5w
<p>輸送 (調布→大樹町) Transport</p>	<p>フライト試験・データ取得(計18フライト) Flight test</p>			
		<p>陸自P搭乗 ／オピニオン聴取 Opinion test(JGSDF Pilot)</p>	<p>空自P搭乗 ／オピニオン聴取 Opinion test(JASDF Pilot)</p>	<p>海自P搭乗／オピニオン聴取 Opinion test(JMSDF Pilot)</p>
				<p>撤収 Withdrawal</p>

■ 10月の約1ヵ月間に合わせて18回のフライトを実施

A total of 18 flights during the month of October

■ フライト中は「道路追従」「低空飛行」「救助活動」「洋上飛行」「進入着陸」等を想定・模擬した飛行を行い、各ミッションを遂行可能な情報を提供できるかを検証

Flew assuming tasks of “Road following”, “Low altitude flight”, “Rescue work”, “Approach landing”, etc., and verified whether we could present sufficient information to accomplish each task.



©2022 Ilya Bogdanovich Map data ©2022 Google



■ 試作品のセンサ映像、HMDの表示の見え方等について陸・海・空自衛隊所属のヘリコプターパイロットからの意見聴取・ディスカッションを実施

Discussed impressions of images and HMD displays with helicopter pilots belonging to the Self-Defense Forces.



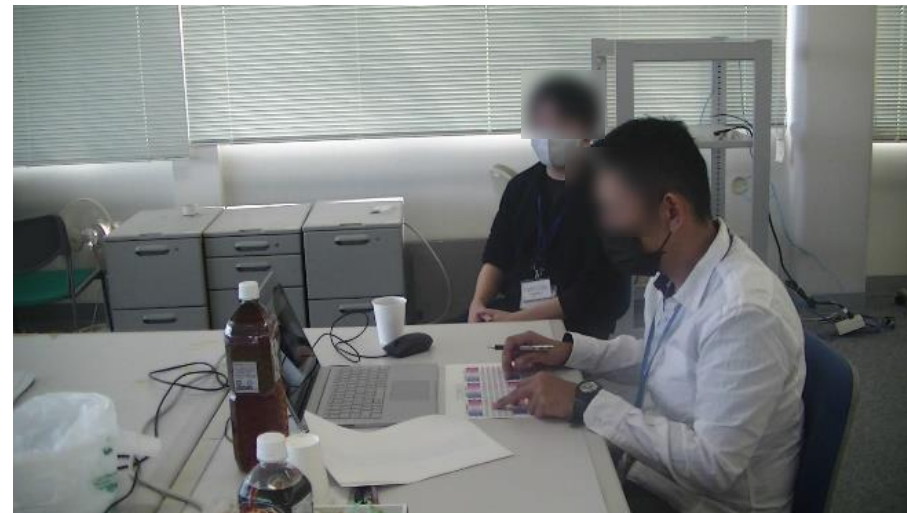
■ 近赤外線と中赤外線の画像情報の融合方式について、操縦タスクという観点で有効性を評価

Evaluate the effectiveness of fusion methods of SWIR and MWIR image information from the viewpoint of flying tasks

- 飛行試験で取得した特徴的な4シーンを選定 Select 4 scenes acquired in the flight test
- 「遠近感・奥行き感の掴みやすさ」「解像度・ノイズの見え方」「ダイナミックレンジ」の3つの指標を設定 Set three indicators: "Recognition of perspective and depth", "Visibility due to resolution and noise", and "dynamic range".
- 融合しない場合と融合の際の極性を変化させた3パターンの融合方式を比較評価した Compare and evaluate the case of no fusion and three types of fusion methods

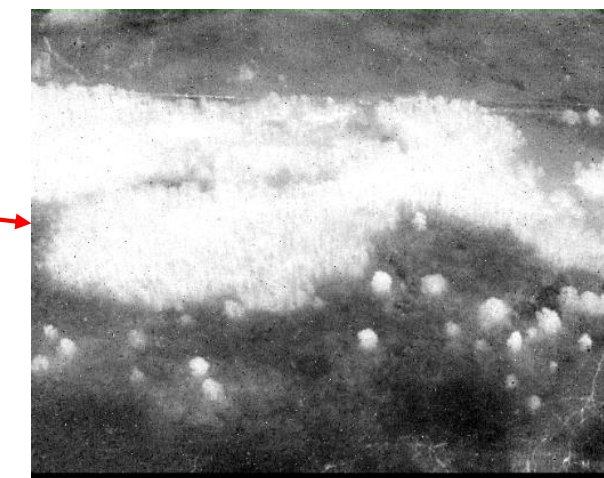
評価画像 Dataset images

	近赤外線 (SW)	中赤外線 (MW)	+SW+MW	-SW+MW	+SW-MW
森林 Forest					
市街地 Town area					
海岸 Coast					
道路 Road					



試験の様子 Conditions of the experiments

- 各部隊のパイロットによる各画像の優劣評価を実施
Evaluation of each image by pilots of Japanese Self-Defense Forces
- シーンによらず、近赤外線画像に反転させた中赤外線画像を融合させた場合に評価が高い傾向にあった
Regardless of scenes, the evaluation tended to be high when the SWIR image was fused with the inverted MWIR image.
- 近／中赤外画像単体より融合画像の方が評価が高い傾向にあることから融合処理に一定の効果を確認した
Confirmed a certain effect of the fusion process because the fusion image tends to be evaluated higher than the SWIR / MWIR image.



		近赤外線 (SW)	中赤外線 (MW)	+SW+MW	-SW+MW	+SW-MW
森林 Forest	Pos. 肯定的	+++		+		+++++
	Neg. 否定的		+++++	++	+++	
市街地 Town area	肯定的		+++	+	+	+++++
	否定的	+++++	+	+	+	
海岸 Coast	肯定的	++	+	++	++	++
	否定的	+	+++	++	+++	+
道路 Road	肯定的	+++++		++		+++++
	否定的		+++		+++	

- パイロット隊員との意見交換の中で、融合方式の他にセンサの「小型化」「広ダイナミックレンジ化」に関するコメントが多く、これらの必要性を確認

During the exchange of opinions with the pilot members, there were many comments on the “miniaturization” and “wide dynamic range” of the sensor in addition to fusion methods, and we confirmed the necessity of these.

■ 近赤外／中赤外に感度を持つ赤外線センサを試作

Prototype SWIR and MWIR sensors

- タイプⅡ超格子構造による波長制御により従来センサと比べて広帯域な近赤外線カメラを試作

Prototype SWIR sensor with wider band than conventional sensor by wavelength control by type Ⅱ superlattice structure

- 暗電流の抑制により、高温動作可能な中赤外線カメラを試作

Prototype MWIR sensor that can be operated at high temperatures by suppressing dark current

■ JAXAとの研究協力協定に基づき、共同で飛行試験を実施

Based on a research cooperation agreement with JAXA, we jointly conducted flight test

- 北海道大樹町にて1ヵ月間の試験を実施

Conducted flight test for one month in Taiki city, Hokkaido

- 各自衛隊のパイロットからコメントをいただき

実用化に向けた課題を抽出

Received comments from Japanese Self-Defense

Forces pilots and extracted issues for practical use

■ 引き続き研究を行い、暗視センサの小型化・広ダイナミックレンジ化などを図っていく予定

We plan to continue our research to reduce the size and widen the dynamic range of the night vision sensor

