

# 3A05 地球観測用小型赤外カメラ(CIRC)の初期評価結果

○片山晴善, 酒井理人, 加藤恵理, 中島 康裕, 木村 俊義 (宇宙航空研究開発機構)

On-orbit status of the Compact Infrared Camera (CIRC) onboard ALOS-2  
Haruyoshi Katayama, Michito Sakai, Eri Kato, Yasuhiro Nakajima, and Toshiyoshi Kimura  
(Japan Aerospace Exploration Agency)

Key Words: Remote Sensing, Uncooled Infrared Detector, Wildfire Detection, CIRC

## Abstract

Compact Infrared Camera (CIRC) is an infrared sensor primarily intended for detecting forest fires, which present a serious problem for the various countries of Southeast Asia, particularly considering the effects of global warming and climate change. Lightweight, compact, and with low power consumption, CIRC can be mounted on multiple satellites to enable high-frequency observation. Installation of CIRC on the ALOS-2 and on the JEM/CALET is expected to increase observation frequency.

In this paper, we present the initial functional verification results of CIRC onboard ALOS-2. Since the initial functional verification phase (July 4-14, 2014), CIRC has acquired the images of Earth. CIRC was demonstrated to function according to its intended design. After the calibration validation phase, which will confirm the temperature accuracy of observed data, CIRC data will be available to the public December 2014 onward.

## 1. 概要

我々は、非冷却のマイクロボロメータを利用した宇宙用熱赤外イメージャーの実証センサとして地球観測用小型赤外カメラ(CIRC)を開発してきた<sup>1,2,3,4)</sup>。CIRCの主要目的は、東南アジア諸国やシベリアなどで頻発する森林火災の検知である。火災発生時には早期検知、および正確な位置情報把握が望まれる。早期検知には観測頻度を向上させることが有効な手段であり、CIRCの小型軽量、低消費電力を活かし、複数衛星にCIRCを搭載することで高頻度な観測を行う。また、火山やヒートアイランド現象の観測もCIRCのミッションである。

CIRCは陸域観測技術衛星2号(ALOS-2<sup>5)</sup>)に搭載されているほか、国際宇宙ステーション(ISS)のきぼう船外実験プラットフォーム(JEM-EF)に設置されるカロリメータ型宇宙電子線望遠鏡(CALET)<sup>6)</sup>にも搭載されており、更なる観測頻度の向上が期待される。本稿では、2014年5月24日に打ち上げられたALOS-2搭載CIRCの打ち上げ後初期評価結果を示す。

## 2. CIRCの主要諸元

CIRCの特徴は、冷却機構を用いないことで、小型(110 mm×180 mm×230 mm)・低消費電力(< 20 W)を

実現している点にある。また小型軽量を実現するために、(i)アサーマル光学系、(ii)シャッタレス方式を採用している。CIRCの光学系はゲルマニウムとカルコゲナイドガラスの2種類の赤外硝材を組み合わせ、温度変化に対して光学系の性能劣化が少ない設計となっている<sup>4)</sup>。このため、ヒータ等による光学系の温度制御を必要とせず、小型で低消費電力を実現している。また、シャッタを使用しないことで駆動系をなくし、さらなる小型軽量化を実現した。

もう一つの大きな特徴として、民生品赤外カメラをベースとした設計であることが挙げられる。民生品を利用することで短期間・低コストの開発を実現し、ALOS-2およびCALETに搭載することが可能となった。

CIRCの観測緒元を表1に示す。CIRCは地球観測用として最大フォーマット(640×480)の非冷却検出器を採用している。森林火災検知に重要なパラメータである空間分解能については、628 kmの高度(ALOS-2)において約210 m、400 kmの高度(CALET)において約130 mである。

ALOS-2搭載CIRCは図1で示す通り、PALSAR-2のアンテナパネルとの関係で、ALOS-2が右方向を観測する際にCIRCが直下を向くよう、30°傾けて取り付けられている。CIRCはPALSAR-2が左観測を行っ

ている場合はポインティング角が 60°と大きくなりすぎるため、 PALSAR-2 が右観測 (CIRC が直下) または非観測(CIRC が 30°ポインティング)時に主に観測を行う。

表 1 : CIRC 観測緒元

パラメータ	仕様
検出器	非冷却赤外検出器
ピクセル数	640×480
波長	8-12 μm
大きさ	110 mm×180 mm×230 mm
質量	3 kg
消費電力	< 20 W
空間分解能	約 210 m @628 km (ALOS-2) < 130 m @400 km (CALET) (< 0.33 mrad)
視野	12°×9°
露光時間	33 ms
ダイナミックレンジ	180 K-400 K
NEdT	0.2 K @300 K
FPN	0.3 K @300 K
温度精度	4K (goal : 2 K @300 K)

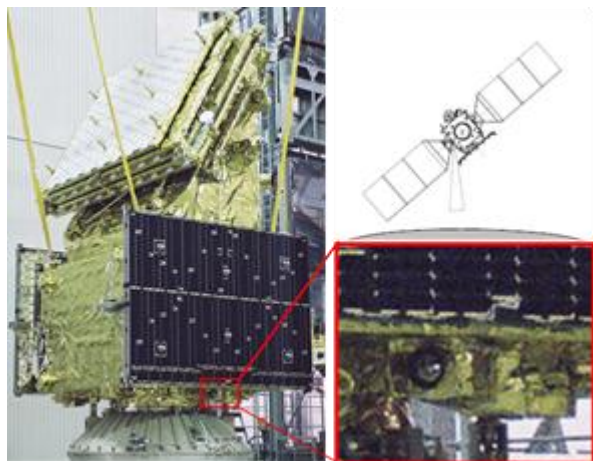


図 1 : ALOS-2 搭載 CIRC の搭載位置

### 3. ALOS-2 搭載 CIRC の初期評価結果

ALOS-2 搭載 CIRC の初期評価(初期チェックアウト)は、2014年7月4日から7月14日にかけて行われた。初期チェックアウトでは、

1. CIRC の基本機能評価
2. CIRC 運用シーケンスでの機能・性能評価(取得画像の品質評価等含)
3. 指向決定精度の確認

を行った。基本機能の評価では軌道上で CIRC を ON して撮像まで行いテレメトリ等が正常値の範囲内であることを評価した。運用シーケンスでの機能・性

能評価では、実際の運用シーケンスに従ったコマンドを送信し、撮像を含めて CIRC が正しく機能することを評価した。また画像から指向決定精度の確認も行っている。

図 2 に初期チェックアウト期間中における CIRC の DCDC コンバータおよび検出器パッケージの温度を示す。CIRC は温度制御を行っていないが、機器が動作していない状態では周回中の温度変動は 10~12°C と CIRC の動作温度範囲である -15°C~50°C と比較して、極めて安定した環境にあることが分かる。CIRC を動作させると DCDC、検出器パッケージともに温度が上がるが、これらも地上試験と同様の振る舞いを示しており、現状の CIRC の Duty である 40 分以内/周回(うち 30 分は温度安定化のためのヒートランを含む)で、ほとんど温度上昇なく次の観測が行えることが分かる。

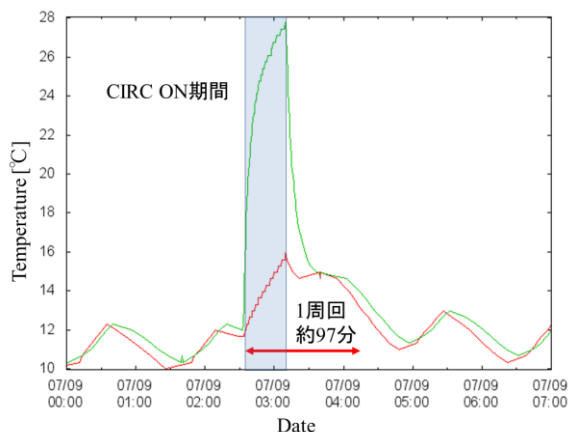
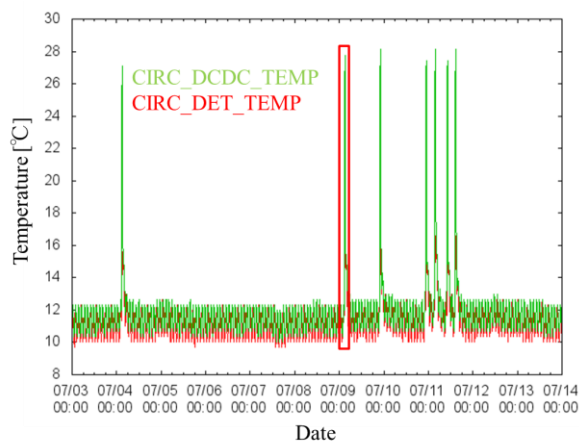


図 2 : (上) 初期チェックアウト期間中の CIRC 温度テレメトリ。(下) 上図赤枠部分 (CIRC ON 時) の拡大図。

図3は初期チェックアウト期間中に撮像した中四国地方の画像を示す。撮像時刻は日本時間の深夜23時44分であるが、夜間でも撮像できる熱赤外線の特長を良く表している。またシャッタレスの補正方式が正しく機能していることも分かる。

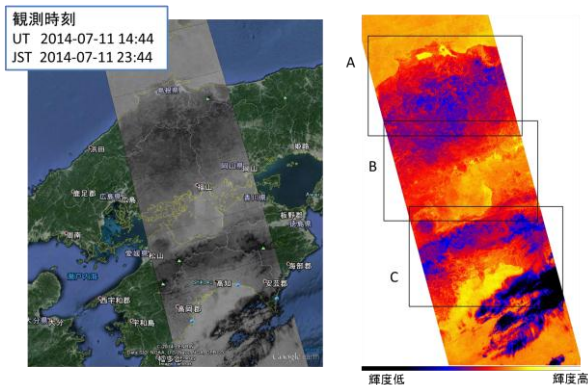


図3：CIRCによって撮像された夜間の中四国地方の画像。

図4に図3の領域Aの拡大を示す。赤外線画像は対象の温度を反映しており、大山を代表とする中国山地の山々は温度が低いと主として青で表示されている。また宍道湖、中海も見えており、日本海と温度が違っていることが分かる。

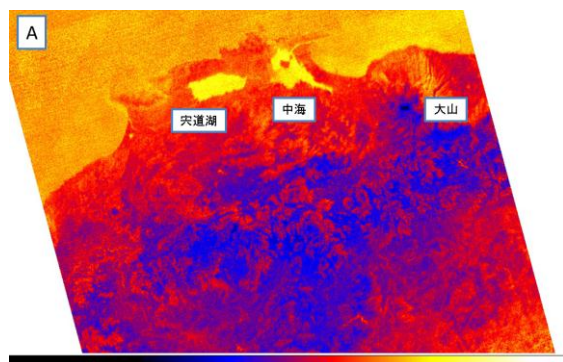


図4：図3の領域Aの拡大

図5に図3の領域Bの拡大を示す。瀬戸内海の島々の他、海面の温度分布が捉えられている。また福山市や倉敷市の温度が他に比べて高めに表示されていることが分かる。これは製鉄所等の工業地帯が温度が高いためと推測される。

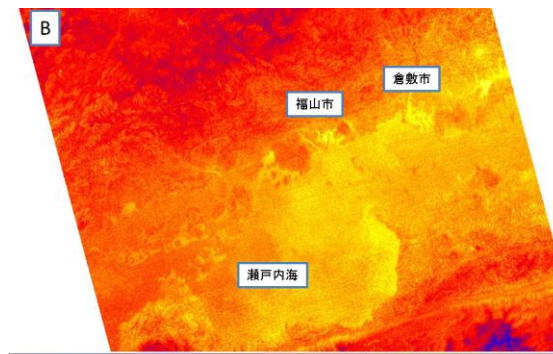


図5：図3の領域Bの拡大

図6は図3の領域Cの拡大を示す。高知市を流れる仁淀川が太平洋に流れ込む様子が分かる。また上空の雲は温度が低いと主として黒で表示されている。

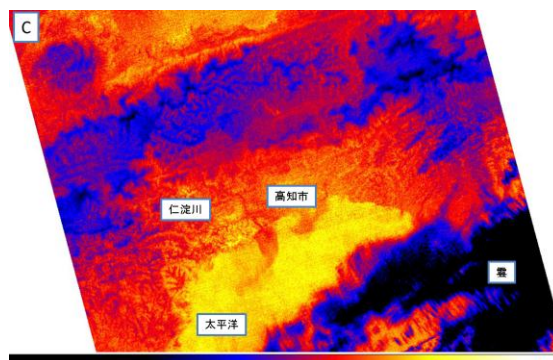


図6：図3の領域Cの拡大

図3から求めた位置ずれ（指向決定性精度は）アロングトラック方向に2.3 km、クロストラック方向に1.0 kmであった。ただしアロングトラック方向には、CIRCの時刻設定精度の問題から最大7 km程度のずれが発生することが分かっており、今後の初期校正運用において時刻ずれおよびアライメントずれによる幾何精度誤差を低減していく予定である。

一連の初期チェックアウトの結果として、CIRCは当初の予定通りの機能・性能を軌道上でも発揮していることが確認され、8月20日のALOS-2定常運用移行に伴いCIRCも定常運用へ移行した。

#### 4. ALOS-2搭載CIRCの運用と基本観測計画

定常運用段階の観測は、CIRC基本観測計画に基づいており、森林火災、火山、ヒートアイランドのミッションに応じた観測地域を設定し、それらを観測する。森林火災はTerra/Aqua衛星搭載のMODISセンサの過去10年のホットスポット検知数の月平均の上位10%の地域を観測対象とし、月ごとに異なる火災多発

地域を観測する。火山は国内外の活動の活発な火山 30 程度を yearly で観測する。またヒートアイランドに関しては、日本およびアジア域の大都市を観測することとしている。この他に日本の離島を含む陸域や、定常モニターに必要な校正サイトは必ず観測を行う。図 7 には 1 月と 7 月の CIRC の日本観測計画の比較を示す。森林火災は乾季に発生しやすいため地域や気候帯によって月ごとに異なる領域を観測する。図 8 に 9 月の基本観測計画と、基本観測計画を基に 1 回帰分（14 日間）の観測を立案した結果を示す。観測可能地域は PALSAR-2 の観測計画により影響を受けるが、一回帰でおおむね観測領域の半分程度はカバーできる。また場所によっては 2 回以上観測できる地域もある。

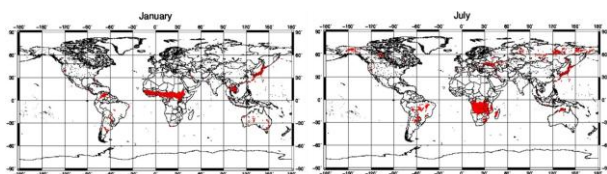


図 7： CIRC の 1 月と 7 月の基本観測計画。

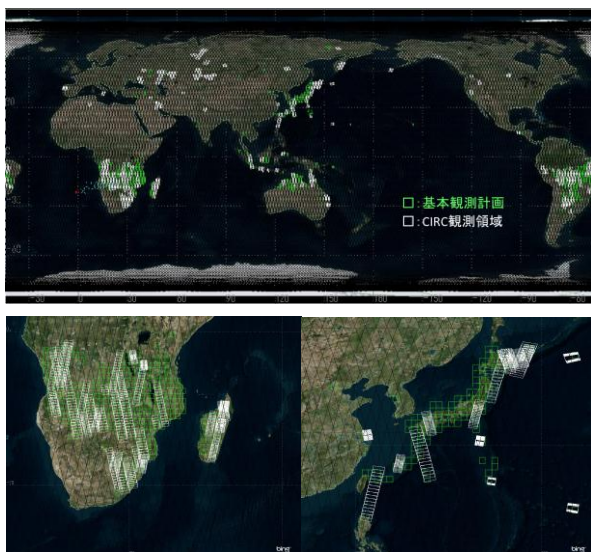


図 8： CIRC の 9 月の基本観測計画（緑枠）と基本観測計画に基づき 1 回帰分の観測を立案した結果（白枠）

以降では、CIRC 基本観測計画に基づき観測された森林火災、火山、ヒートアイランド（都市部）の観測例を示す。

#### (a) 森林火災

CIRC は初期チェックアウト開始から 2014 年 9 月 1

日現在までで 100 件以上の森林火災を検知している。図 8 には 2014 年 8 月 31 日 UT10 時 30 分(現地時刻 11 時 30 分)ごろに CIRC により撮影されたアンゴラの森林火災の様子を示す。図 9 右は MODIS により同日に撮影された可視画像と、MODIS の赤外波長を用いて検出された火災地域を赤枠で示す。CIRC 画像で高温を示す黄色の地域は MODIS の火災検知結果と良く一致することが分かる。初期校正運用ではこのように他の衛星の検知結果と比較しながら、火災検知アルゴリズムの検証を行っていく予定である。

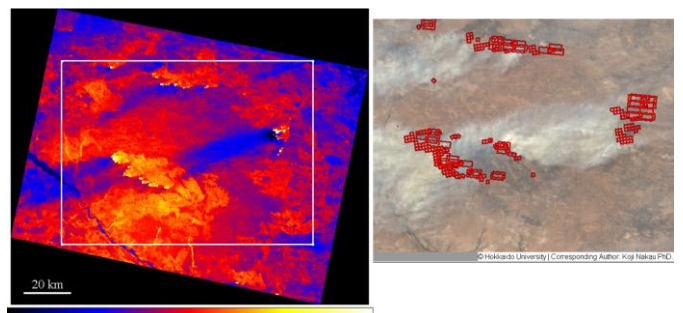


図 9： 2014 年 8 月 31 日に観測したアンゴラの森林火災の画像。(左) CIRC で撮影された熱赤外画像。(右) 左図白枠部分の MODIS 可視センサの画像。赤枠は MODIS 赤外センサで検出された火災の位置を示す<sup>7)</sup>。

#### (b) 火山

図 10 には 2014 年 8 月 25 日 UT22 時 18 分(現地時間 24 時 18 分)に撮影されたイタリアのエトナ火山の画像を示す。エトナ火山は 2014 年 8 月中旬に小規模な噴火活動を起こしており<sup>8)</sup>、噴火から一週間程度経過しているが、火口付近の熱異常が CIRC でも捉えられている。

このように国内外の活発な火山を観測し、CIRC データの有用性を確認していく予定である。

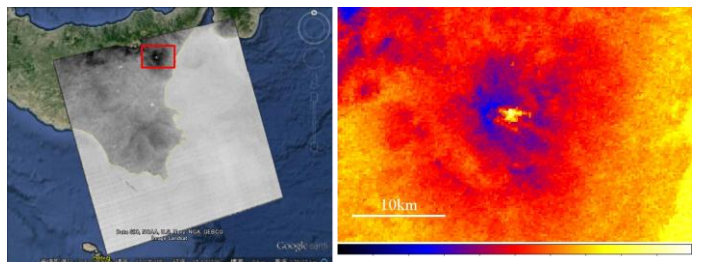


図 10： 2014 年 8 月 25 日に撮影されたエトナ火山の画像。左は火口付近（左図赤枠）の拡大図。

### (c) ヒートアイランド

図 11 には 2014 年 7 月 21 日 UT 18 時 40 分（現地時間 13 時 40 分）に撮影されたアメリカ/イリノイ州、シカゴ市周辺の画像を示す。市街地が温度が高めに表示されていることが分かる。

図 12 は、図 11 の白枠の領域の拡大を示す。東西南北方向に碁盤目状に走っている道路の様子が分かる。CIRC の分解能（約 200 m）は道路の幅（広い所でも約 60 m）に比べて大きいことが、日中で道路と周辺の温度差が大きいこと、碁盤目状に規則正しく道路が張り巡らされていることにより、道路のパターンが見えていくと推測される。

このように CIRC データはヒートアイランド現象の把握にも活用していく予定である。

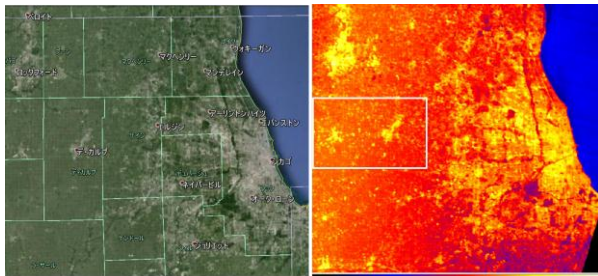


図 11： 2014 年 7 月 21 日に撮影されたアメリカ・シカゴ市周辺の画像。

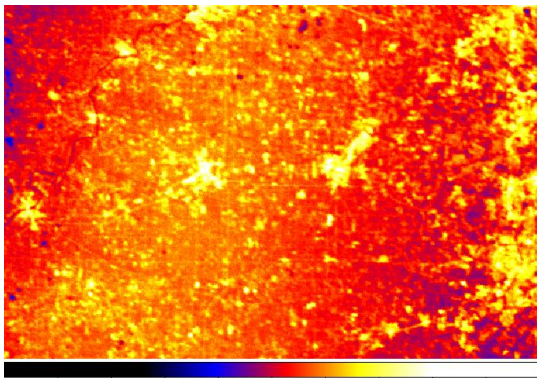


図 12： 図 10 右図の白枠部分の拡大図。

## 5. 今後の予定

CIRC の定常運用段階は初期校正運用段階と利用実証段階に分けられており、2014 年の 12 月までは初期校正運用段階として、温度精度等の校正検証を行っていく。初期校正運用段階終了と共に、CIRC のデータは一般に公開予定である。

その後の利用実証段階では、CIRC のミッションである森林火災、火山、ヒートアイランドなどの観測に対する CIRC データの有用性を外部ユーザと共同で確認する予定である。

## 参考文献

- 1) H. Katayama, M. Naitoh, M. Suganuma, M. Harada, Y. Okamura, Y. Tange, and K. Nakau,; Development of the Compact Infrared Camera (CIRC) for Wildfire Detection, Proc. SPIE, vol 7458, 2009, pp. 745806-1-745806-8
- 2) E. Kato, H. Katayama, M. Naitoh, M. Harada, R. Nakamura, and R. Sato. “Development of the Compact Infrared Camera (CIRC) for earth observation”, Proc. SPIE 8353, 2012, 8353J1
- 3) R. Nakamura, H. Katayama, M. Naitoh, M. Harada, E. Kato, K. Nakau, and R. Sato. “Ground Calibration of Compact Infrared Camera (CIRC) for Earth Observation”, Proceedings of 2013 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2013, pp. 4435-4438
- 4) E. Kato, H. Katayama, M. Naitoh, M. Harada, Ryoko Nakamura, K. Nakau, Y. Tange and R. Sato. “Radiometric Calibration of Compact Infrared Camera (CIRC) for Earth Observation”, Sensors and Materials, 26, No.4, 2014, pp. 199-214
- 5) S. Suzuki, Y. Osawa, Y. Hatooka, Y. Kankaku, and T. Watanabe,; “Overview of Japan’s Advanced Land Observing Satellite-2 Mission”, Proc. SPIE, vol 7474, 2009, pp. 7474Q-1-10
- 6) S. Torii, et al,; CALET mission on ISS, Proc. SPIE, vol 7021, 2008, pp. 702114-11
- 7) Wildfire Database  
<http://fire.cris.hokudai.ac.jp>
- 8) Smithsonian Institution / USGS Weekly Volcanic Activity Report  
[http://www.volcano.si.edu/reports\\_weekly.cfm](http://www.volcano.si.edu/reports_weekly.cfm)