

F5

鹿島 35cm 望遠鏡を用いた人工衛星の観測

Observations of Artificial Satellites with Kashima 35cm Optical Telescopes

○布施哲治(NICT 鹿島)

○Tetsuharu Fuse (NICT Kashima)

情報通信研究機構 (NICT) では、企業・大学と共同開発中の超小型衛星に光通信用レーザー発振器およびコリメーターを搭載し、地上局との光通信実験を計画している。一般的に、低軌道を周回する超小型衛星は、自ら発光していない限り地上から見える可能性は低いが、光通信用の近赤外線を発している同衛星では地上望遠鏡による位置観測および軌道決定ができる可能性がある。鹿島宇宙技術センターの口径 35cm 光学望遠鏡は静止衛星専用であったが、低軌道衛星をも観測できるように改修作業を行っている。本発表では、現在の観測システムの状況を報告する。

鹿島35cm望遠鏡を用いた人工衛星の観測

情報通信研究機構 鹿島宇宙技術センター
布施 哲治

1. 鹿島センターと立地条件
2. 望遠鏡：1997/2002年～2005年
3. 望遠鏡：2005年～2011年
4. 新しい研究対象
5. 望遠鏡：現在～

1

1. 鹿島宇宙技術センターと立地条件

情報通信研究機構 (NICT) の施設





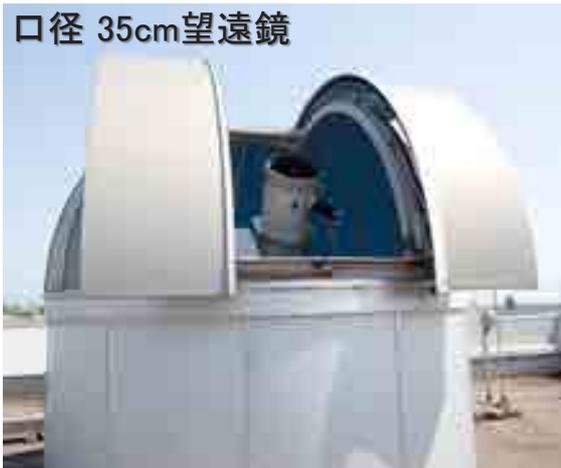
口径 34m アンテナ



口径 13m アンテナ
(左:放送衛星、右:通信衛星)



口径 35cm 望遠鏡



可動基線電波干渉計



1. 鹿島宇宙技術センターと立地条件

4

- ・ 太平洋まで東に 2kmほど
- ・ 南東に製鉄所・化学工場など
- ・ 近隣に娯楽・商業施設、住宅
- ・ 南西約30kmに成田空港

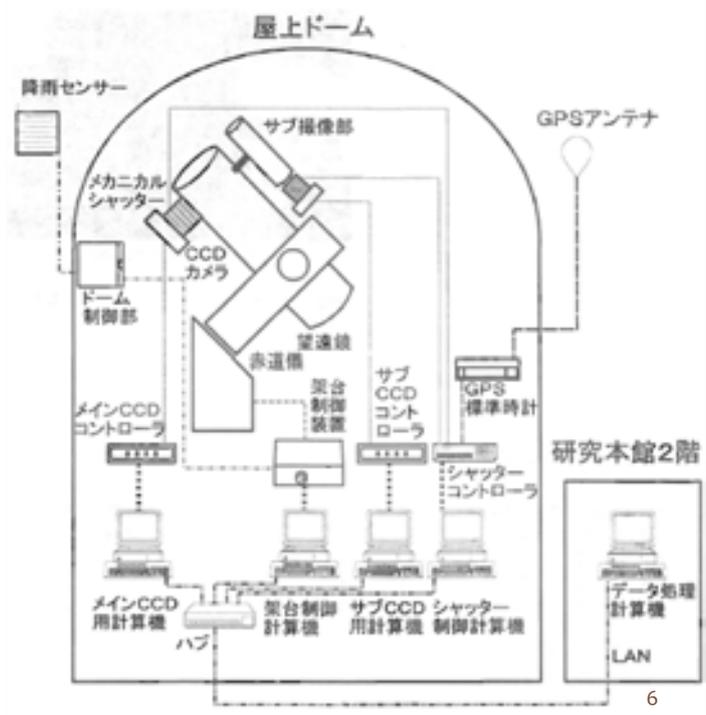
→ 観測環境は非常に悪い



2. 望遠鏡：1997/2002年～2005年

- 静止衛星の撮像および軌道決定を目的に2台を建設

- ・ 望遠鏡：タカハシ ϵ -350 (口径35cm)、焦点距離 1,248mm
- ・ 架台：SHOWA (耐荷重 60kg)
- ・ 視野：1度×1度
- ・ シャッター、カメラ、架台の制御 PCが各3台
- ・ 研究室から Windows のリモートデスクトップでコントロール



6

3. 望遠鏡： 2005年～2011年

- 2005年のトラブル後に改修
 - 望遠鏡：タカハシ ϵ -350（口径35cm）、焦点距離 1,248mm
 - 架台：SHOWA（中身は住金金属系列会社作成？）
 - カメラ：BITRAN BT214E 1,024×1,024 pix 24 μ m
 - 視野： 1度×1度
 - シャッター精度：UTC < 0.01秒
 - 位置測定精度：1/1,000度（=3.6秒角、静止軌道上で約700m）



7

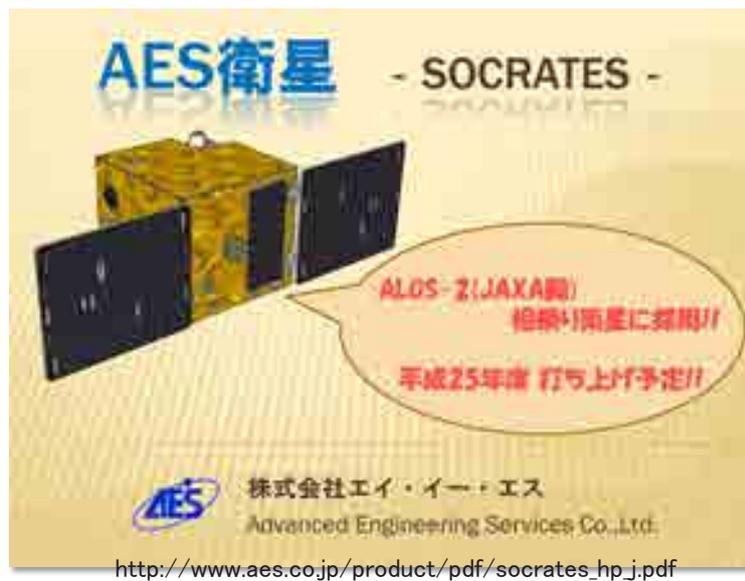
3. 望遠鏡： 2005年～2011年

- 位置測定の精度が低い（1/1000度=3.6秒角 → 1ピクセル？）
 - 使っている星表カタログが Guide Star Catalogue 1.1
 - CCDカメラのピクセルスケールが大きい（24 μ m）
- 非恒星追尾はもちろん、恒星追尾もできなかった
- その後のできごと
 - 2011年度で静止衛星監視の電波利用料が終了
 - 研究室の方向性 → 低軌道衛星による光通信実験
- そこで、どうしたか
 - 1: 「光通信中の低軌道衛星を光学的に位置観測→軌道決定」を目標に
 - 2: 普通の赤道儀に戻して、普通の天体望遠鏡にする（昨年度）
 - 3: 低軌道衛星の軌道決定向けにカメラ周辺を改修（昨年度+今年度）

8

4. 新しい研究対象

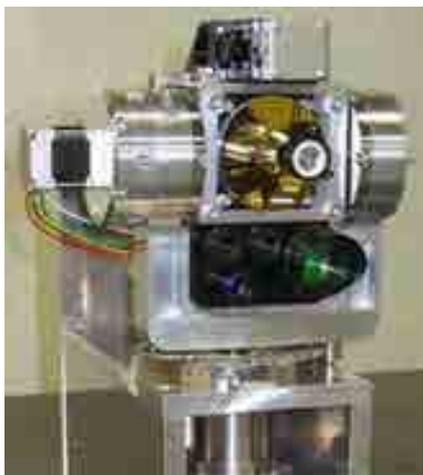
- 低軌道衛星：高度628km、重さ50kg
 - 宇宙光通信技術実証衛星SOCRATES by AES: H25年度打上げ (ALOS-2の相乗り)



9

4. 新しい研究対象

- SOCRATES by AES: H25年度打上げ予定
 - SOTA (Small Optical Transponder):
小型衛星へ搭載できるように小さくデザインされた光通信装置



SOTA Proto-flight Model (PFM). 光学部(左)および電気回路部(右).

10

4. 新しい研究対象

- SOCRATES by AES: H25年度打上げ予定
 - SOTA (Small Optical Transponder):
小型衛星へ搭載できるよう小さくデザインされた光通信装置

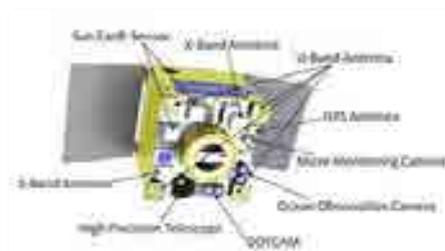
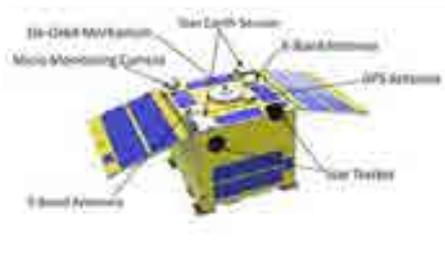
表1 SOTA BBMの主な仕様

Mass	5.3 kg(including both the optical part and the electric part)
Power	22.8 Watt
Gimbal angular range	Az: >±10deg. El: >±10deg
Link range	1000km
Wavelength	TX 1: 975nm TX 2 & 3: 800nm-band TX 4: 1550nm RX: 1064nm
Data Rate	10Mbps

11

4. 新しい研究対象

- 低軌道衛星：高度500–900km、重さ50kg
 - ほどよし2号 (RISESAT: Rapid International Scientific Experiment Satellite) by 東北大学：H25年度打上げ

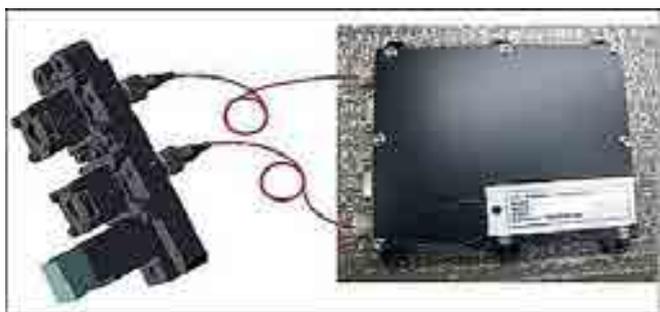


<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/nsat/hodo2.html>

12

4. 新しい研究対象

- ほどよし2号 by 東北大学：H25年度打上げ
 - VSOTA (Very Small Optical Transponder):
SOTA の機能限定版の光通信装置 (100kbps with 980nm/1540nm)



<https://directory.eoportal.org/>



<http://www.nict.go.jp/>

13

4. 新しい研究対象

- 低軌道衛星の位置観測について
 - 光通信実験中の低軌道衛星は $0.8/0.98/1.54 \mu\text{m}$ で明るい
→ 夜間はいつでも OK (通常の LEO は日の出前・日没後のみ)



赤外線カメラで撮影

波長 $0.8 \mu\text{m}$

2006年3月29日

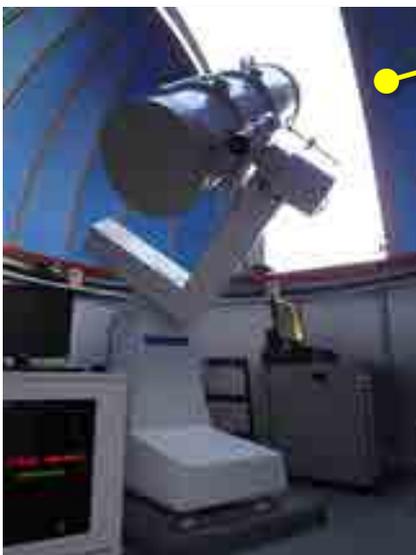
「きらり」(OICETS)
610km の円軌道

4. 新しい研究対象

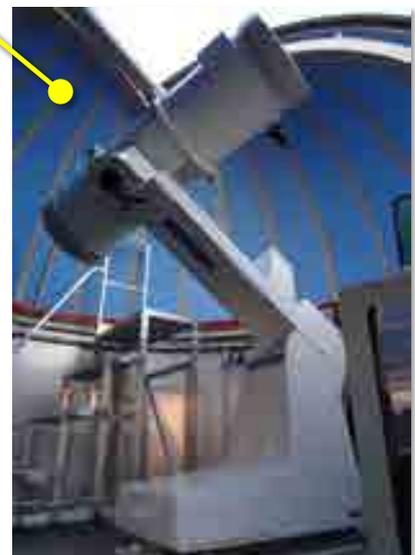
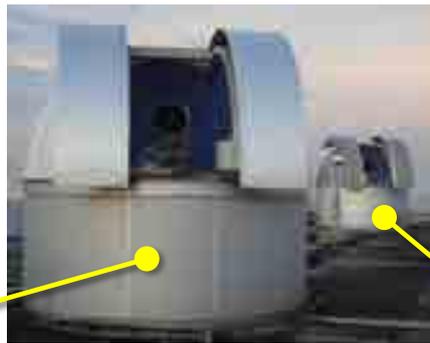
- 低軌道衛星の位置観測について
 - GPS による軌道決定とは独立した物理量から軌道を求める
 - おおよその軌道がわかっている、明るい衛星を対象とする
 - 恒星追尾をして、視野内を横切る衛星を捉える(=流星)
 - 恒星は点状
 - 線状に伸びた衛星像の位置を測定
 - GPS 時計を用いた時刻制御
 - シャッターの開閉が高精度に時刻管理されたカメラ
 - 時刻制御精度が軌道決定精度を決める → $\sim 50 \mu s$



5. 望遠鏡：現在～



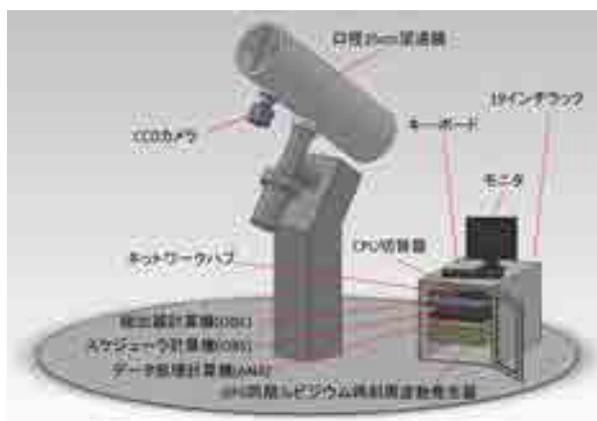
1号機：低軌道用望遠鏡



2号機：汎用望遠鏡

5. 望遠鏡： 現在～

- 低軌道衛星用望遠鏡（1号機）
 - 鏡筒は過去と同じ：タカハシ ε -350（口径35cm）、焦点距離1,248mm、視野1度×1度
 - 架台・西村製作所製（耐荷重100kg）
 - カメラ：BITRAN BQ-82（1600万画素）+ I band フィルター
シャッター時刻管理精度 $\sim 50\mu\text{sec}$



5. 望遠鏡： 現在～

- 低軌道衛星用望遠鏡（1号機）

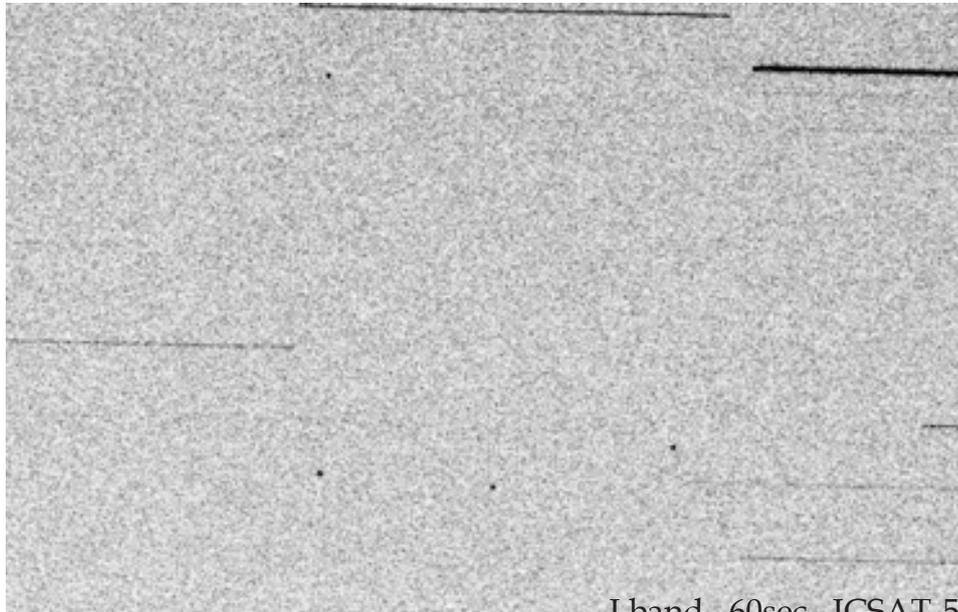


BITRAN BQ-82M
4872 × 3248pix（1600万画素）7.4 μm



5. 望遠鏡： 現在～

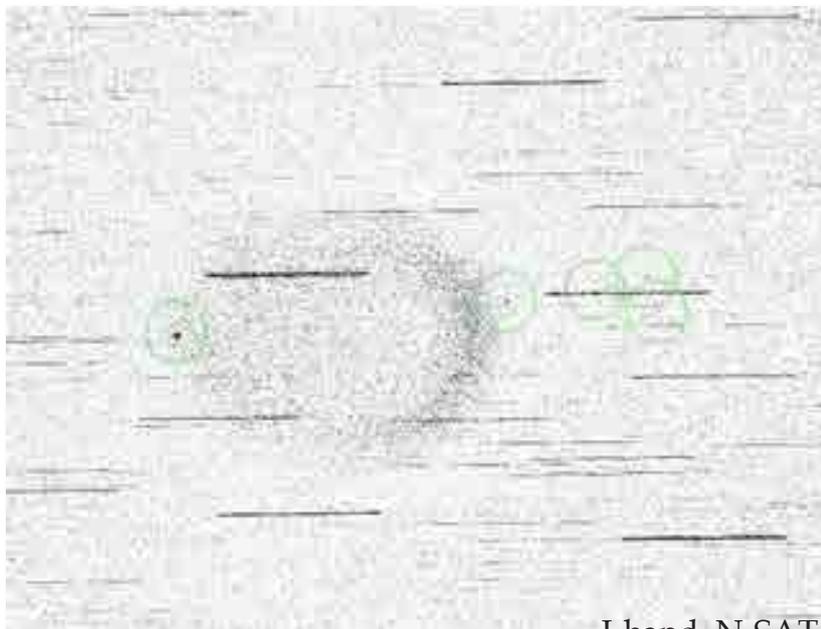
- 低軌道衛星用望遠鏡（1号機）
 - 静止衛星の観測 = 追尾を止めると衛星が点状



I band 60sec JCSAT-5A E135deg

5. 望遠鏡： 現在～

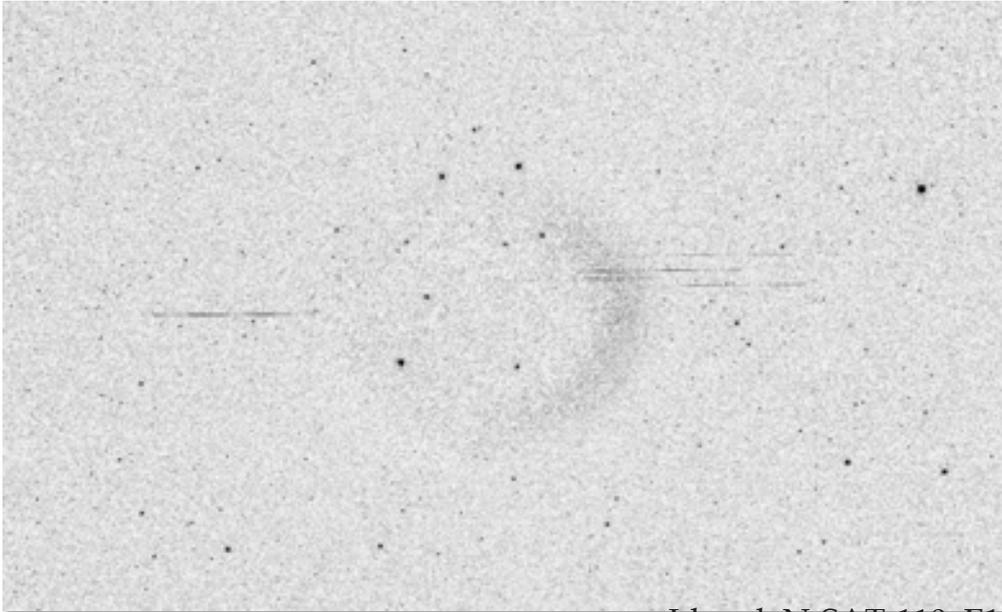
- 低軌道衛星用望遠鏡（1号機）
 - 静止衛星の観測 = 追尾を止めると衛星が点状



I-band N-SAT-110 E110deg

5. 望遠鏡： 現在～

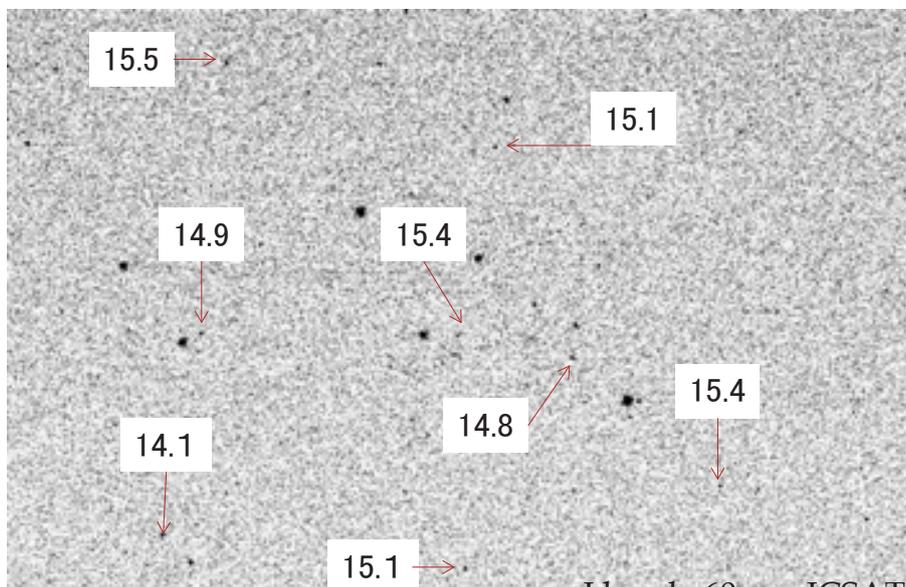
- 低軌道衛星用望遠鏡（1号機）
 - 静止衛星の観測： 恒星追尾 ≡ 低軌道衛星の観測



I-band N-SAT-110 E110deg

5. 望遠鏡： 現在～

- 低軌道衛星用望遠鏡（1号機）
 - 静止衛星の観測： 恒星追尾 ≡ 低軌道衛星の観測



I band 60sec JCSAT-5A E135deg

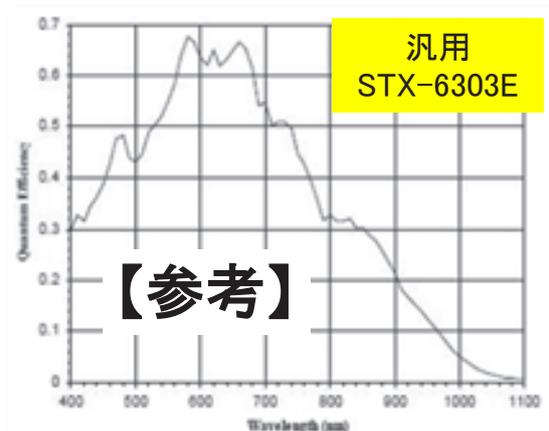
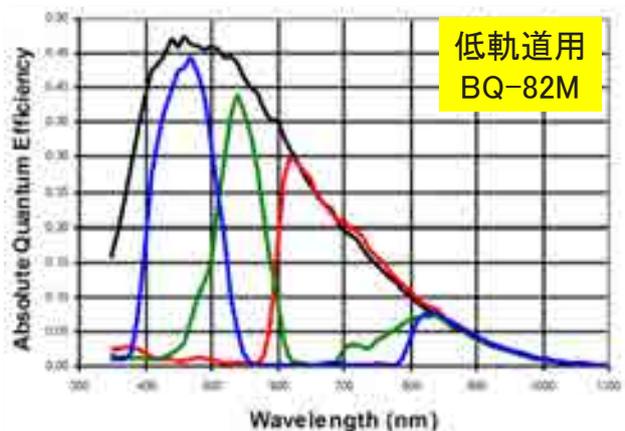
5. 望遠鏡： 現在～

- 汎用望遠鏡（2号機）
 - 鏡筒、架台、架台まわりは1号機と同一
 - CCDカメラ: SBIG STX-6303E 3072×2048 pix (630画素) 9 μ m
 - 眼視向けに巨大脚立を導入: 中学生の職場体験などに利用



5. 望遠鏡： 現在～

- これから、やるべきこと、やっていること
 - 0.8 μ m の QE は 10% だが、位置観測は可能
 - 0.98 μ m を放つ衛星の位置観測も、現システムで可能な見込み



- 1.54 μ m を放つ衛星の位置観測の可能性は調査中
- 低軌道衛星の追尾のため、ドームモータの交換済み。架台制御プログラムは改修中

まとめ

- 低軌道衛星用望遠鏡（1号機）
 - 静止衛星・デブリの位置観測（追尾なし＝衛星追尾）
限界等級 15.5mag @ 10秒露出
 - 低軌道衛星の位置観測（恒星追尾で待ち伏せ、明るい衛星）
 - 低軌道衛星の追尾（今年度ハード・ソフト対応）

- 汎用望遠鏡（2号機）
 - 静止衛星・デブリの位置観測（追尾なし＝衛星追尾）
 - 低軌道衛星の追尾（今年度ハード・ソフト対応、ドーム改修必要）
 - 昼間に眼視による観望会

Environment around Kashima Center



Ironworks, power plant, chemical plants, etc. and a lot of houses

Bright neon lamp of pinball saloon

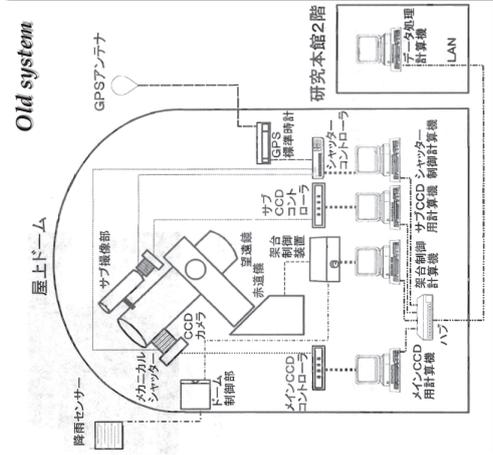
Two Microsatellite Missions with NICT's Optical Component

- A LEO microsatellite SOCRATES, alt 628km and mass 50kg, developed by Advanced Engineering Services Co., Ltd. will be launched in 2013.
- NICT's on board component SOTA (Small Optical Transponder) emits 800, 980, and 1550nm near-infrared lights for optical communications.



History of Kashima Telescopes

- The old systems could only measure geostationary satellite positions to determine their orbits around the earth; this was because the old telescope mount functions were limited.
- After the 2011's huge earthquakes, the mounts were replaced and any objects can be observed now.



Two Microsatellite Missions with NICT's Optical Component

- HODOYOSHI-2, a LEO microsatellite of alt 500-900km and mass 50kg, developed by Tohoku University, will also be launched in 2013.
- NICT's on board component VSOTA (Very Small Optical Transponder) emits 980 and 1540nm near-infrared lights for optical communications.



Two Microsatellite Missions with NICT's Optical Component

- Orbital determination of LEO satellites on boarded optical component
 - If a LEO satellite emits (near-infrared) light, the streak light and background star light can be detected simultaneously in night; the satellite's relative positions to the stars give us their orbital elements.
 - This is a similar method to a meteor observation.
 - Kashima telescopes are currently under development for the LEO satellite positional observations.



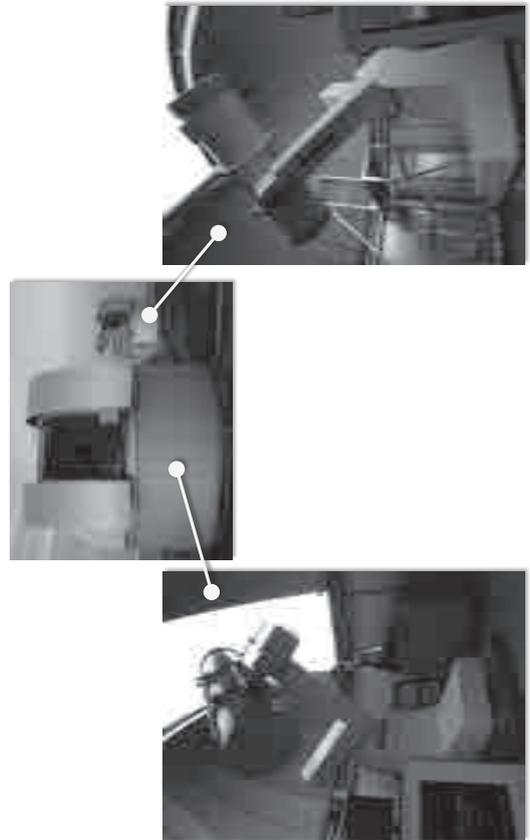
meteor

New Kashima Telescope Systems

- Telescope-1
 - Telescope: Takahashi ϵ -350 (Dia 35cm), $f = 1,248\text{mm}$
 - Mount: Nishimura ← New!
 - CCD Camera BITRAN BQ-82 (1600M pix) ← New!



New Kashima Telescope Systems



Telescope-1

Telescope-2

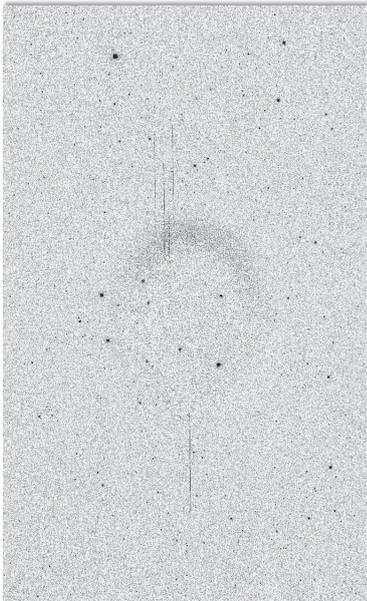
New Kashima Telescope Systems

- Telescope-1
 - A sample image of gestational satellites with no tracking



New Kashima Telescope Systems

- Telescope-1
 - A sample image of gestational satellites with the sidereal tracking



New Kashima Telescope Systems

- Telescope-2
 - Telescope: Takahashi ϵ -350 (Dia 35cm), $f = 1,248\text{mm}$
 - Mount: Nishimura ← New!
 - CCD Camera: SBIG STX-6303E (630M pix) ← New!
 - Eyepieces can also be used for educational purpose.



New Kashima Telescope Systems

- Telescope-1
 - A sample image of ISS with the sidereal tracking

