G3

Remediation of cm-size space debris from the International Space Station

OToshikazu Ebisuzaki^1, Mark N. Quinn^2, Satoshi Wada^1, Lech Wiktor Piotrowski^1,
 Yoshiyuki Takizawa^1, Marco Casolino^1,^3, and Mario Bertaina^4, Philippe Gorodetzky^5,
 Etienne Parizot^5, Toshiki Tajima^2,^6, Remi Soulard^2 and Gerard Mourou^2
 1 RIKEN, 2-1, Hirosawa Wako, 351-0198, Japan
 2 IZEST, EcolePolytechnique, 91128, Palaiseau, France
 3 INFN

4 University of Torino

5 APC-CNRS/Paris7 University, 10 rue A. Domon et L. Duquet, 75013 Paris, France 6 Dept. of Physics and Astron. University of California at Irvine, Irvine, CA 92697

We present here a plan in 3 steps to design an orbiting debris remediation system comprised of a super-wide field-of-view telescope and a novel laser system operating from the International Space Station (ISS). The EUSO (Extreme Universe Space Observatory) telescope has been designed for operation onboard the ISS for the detection of ultra-high energy cosmic rays. Equipped with 2.5 m optics and a field of view of ± 30 degrees, the EUSO module can also be utilized for the detection of high velocity fragmentation debris in orbit near the ISS. Once detected, the CAN laser system will deliver a sequence of pulses to the debris surface inducing ablation and hence momentum impulse to reduce its velocity. The range of the detection/removal operation can be as large as 100 km. We will use a step by step approach employing ISS : 1) Proof of principle demonstration of the detection (and, if possible, laser impulse technology) with ISS based small prototype 2) Technical demonstrator debris removal that consists of the EUSO telescope for the detection and a 1.5 m Cassegrain telescope with a space CAN laser for tracking and impulse delivery for debris re-entry, and 3) A free-flyer mission dedicated to debris remediation in a polar orbit with the alititude ~800 km.

Remediation of cm-size space debris from the International Space Station

Toshikazu Ebisuzaki , S. Wada, L.W. Pitrowski, M. Casolino (RIKEN), R. Soulard, M. N. Quinn, G. Mourou (IZEST, Ecole Polytechnique, France)

Results of simulations for 1-10cm size debris, performed with the MASTER 2009



Concept of our technical demonstrator of the laser removal



- EUSO
 - Detection
 - Position and velocity
 - Crude determination
- CAN laser system
 - Search beam
 - Position and velocity
 - Fine determination
 - Shooting Operation







K-EUSO



This document is provided by JAXA.

CAN (Coherent Amplification Network) Laser System



Mourou et al. 2013, nature Photonics, 7, 258-261

Space CAN laser system CAN=Coherent Amplify Network



Reaction Force by Laser Abration



Reentry by reaction force of laser ablation



Three steps of debris removal

- Target Debris
 - -a=1-10 cm, d \sim 100 km, v_{rel} \sim 1-10 km
- Detection (~0.1 seconds)
 - EUSO telescope $\pm 30^{\circ}$
 - position ($\Delta\theta$ <0.07°) and velocity (1%)
- Tracking(~1 seconds)
 - Cssegrain telescope (1.5m) (~1 seconds)
 - Pencil beam illumination ($\Delta \phi \sim 0.07^{\circ} \Delta \tau \sim 1 \text{ns}$)
 - position ($\Delta\theta$ <10⁻⁶ rad, Δ R~1 km)
- Laser Shooting (~10 seconds)
 - $-E_{p}$ ~10 J, R_{p} ~10⁴ Hz

JEM-EUSO and Mini-EUSO





Three steps of demonstration

- 1. Mini-EUSO on ISS
 - Proof of Principle Mission
 - 25 cm UV telescope
- 2. EUSO class telescope (K-EUSO) on ISS
 - Technical Demonstrator for Laser Removal
 - 2.5 m UV telescope CAN Laser System
- 3. Dedicated Removal Mission
 - Dedicated system of Laser removal

Laser Shooting Operation



1. Mini-EUSO

- Proof of principle system
- Selected by ASI asVUS-2 (Human Space Flight 2)
- Russian International Collaboration mission
 - long-term program of space experiments on the ISS
- Detection
- Tracking
 - and Irradiation by Lidar (if possible)

Mini-EUSO mechanics

• Experiment "Relaxation" on the





Mechanical interface with UV window could be similar.

15th International JEM-EUSO Meeting

17

Decision

• From the May, 26 the experiment is included in the long-term program of space experiments on the ISS

<u>за. Поперская, 4, г. Коралёв, Московская вбл., 141979</u> <u>уд. Поперская, 4, г. Коралёв, Московская вбл., 141979</u> <u>уд. Поперская, 4, г. Коралёв, Московская вбл., 141979</u> <u>уд. Полерская, 4, г. Коралёв, Московская вбл., 141979</u> <u>В. А. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>М. С. Соловае</u> <u>В. С. Соловае</u> <u>В. С. С.</u>	ФЕДЕРАЛЬНОГО К но врограммам научных и при	осмического атентства кладных исследований и экспериментов
УПЕРИЛИ Предекатата КНАТС Роскоского В.А. Соловке Д.А. Соловке Д.А	на нилотируемы ул. Пионерская, 4, г. К	а космических комплексах орелёв, Московская обл., 141970
Пределатель КНТС Роскоссиона В.А. Соловке <u>М. С. С. они</u> <u>В.А. Соловке</u> <u>М. С. С. они</u> <u>С. индес</u> <u>2014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u> <u>1014</u>		утвержалю
В. Словне <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2014</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2016</u> <u>2017</u> <u>2016</u> <u>2017</u> <u>2016</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2017</u> <u>2</u>		Председатели КНТС Роскосмое
<u>РЕШЕНИЕ № 5</u> О восления космического эксперимента «УФ атмосфера» в «Долгосрочную программу научво-вракладных исследований и экспериментов, планируемых на Российском сегменте МКС» В соответствии с в.3 Приложения 2 к «Долгосрочной программе научно присвалых исследований в экспериментов, планируемых на Российском стояните МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программе изменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программе спериментов, каза коемического эксперимента «УФ атмосфера» в млюстья волошены требования, установленные процедурой введения номых коемические испериментов, планируемых на РС МКС», принимается испериментов, планируемых на РС МКС», принимается РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочном рограмму шучно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых во осийском сегменте МКС».		В.А. Соловье
РЕШЕНИЕ № 5 Овасники коскического эксперимента «УФ атмосфера» в «Долгосрочной программе научко-прикламих исследований в экспериментов, планируемых на Российской сегменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программе научко-прикламих исследований в экспериментов, планируемых на Российской сегменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программе научко-прикламих исследований в экспериментов, планируемых на Российской сегменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программе научко-прикламих исследований, учитывая, что для коемического эксперимента «УФ атмосфера» в односточка исприментов в «Долгосрочную программу научно-прикламих исследований, испериментов, планируемых на РС МКС», принимается РШЕНИЕ: Вости космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочной программу научно-прикламик» исследований и космический испериментов, планируемых насточеский испериментов, планируемых на РС МКС», принимается РШЕНИЕ: Вости космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочной программу изучно-прикладиых исследований и космический испериментов, планируемых на российском сегменте МКС». Мат		A <u>R6 * 4495</u> 20141
 О введении коссинческого эксперимента «УФ атмосфера» в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых на Российском сетменте МКС». В соответствии с п.З. Приложения 2 к «Долгосрочной программе научно прикладных исследований в экспериментов, планируемых на Российское егоменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программу научно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых на Российское егоменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программу изучно-прикладных, исследований консернментов в «Долгосрочную трограмму научно-прикладных космический консернментов в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований консриментов, планируемых на РС МКС», принимается РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочную рограмму научно-прикладных исследований консернментов, планируемых на российском сетменте МКС». И.о. учбного секретаря КнПС Роскосмоса М.о. учбного секретаря М.о. учбного секретаря М. учбного секретара М. учбного секретар	PE	шение № 5
В соответствии с п.3 Приложения 2 к «Донгосрочной программе научно прикладных исследований в экспериментов, планируемых на Российског егменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменсния Долгосорочной программя и учитывая, что для космического эксперимента «УФ атмосфера» полностья мполнены требования, установленные процедурой введения новых космически кспериментов, в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и кспериментов, планируемых на РС МКС», приновлется РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочную рограмму научно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых в bocuficком сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса	О введении космического экспери программу научно-приклад планируемых на Р	имента «УФ атмосфера» в «Долгосрочную мых исследований и экспериментов, оссийском сегменте МКС»
рикладных исследований в экспериментов, планируемых на Российског втяменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программи и учитывая, что для космического эксперимента «УФ атмесфера» волностья иполнены требования, установленшые процедурой введения новых космическая кепериментов в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований и кепериментов, планируемых на РС МКС», привновется РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочнум рограмму научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых и оссийском сетменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса Жито со сверстаря Б.В. Загреев	В соответствии с п.3 Прилож	ения 2 к «Долгосрочной программе научно
етменте МКС» (версия 2012 года) о порядке изменения Долгосрочной программи и учитывая, что для космического эксперимента «УФ атмосфера» волностья илопнены требования, установленные процедурой введения новых космическая кепериментов в «Долгосрочную программу ваучно-прикладных исследований и кепериментов, планируемых на РС МКС», принимается РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочнум рограмму научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых и оссийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса Жило ф. с.	прикладных исследований и экс	периментов, планируемых на Российског
 учитывая, что для космического эксперимента «УФ атмосфера» волностья кололнены требования, устанокленные процедурой введения новых космическая кепериментов в «Долгосрочную программу ваучно-прикладных исследований и кепериментов, планируемых на РС МКС», принимается РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочнум рограмму научно-прикладных исследований и экспериментов, планируемых и оссийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса Жен К. Б.В. Загреев 	сегменте МКС» (версия 2012 года) о	порядке изменения Долгосрочной программи
ыполнены требования, установленные процедурой введения новых космическая аспериментов в «Долгосрочную программу ваучно-прикладных косменческая аспериментов, планируемых на РС МКС», принимается РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочну» рограмму научно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых и оссийском сегменте МКС». И.о. учёного севретаря КНТС Роскосмоса	и учитывая, что для космического	эксперимента «УФ атмосфера» полносты
кепериментов в «Долгосрочную программу научно-прикладных исследований кепериментов, планируемых на РС МКС», принимается РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочнум рограмму научно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых и оссийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса <i>Ту</i> Б.В. Загреев	выполнены требования, установлени	ые процедурой введения новых космически
кспериментов, планируемых на РС МКС», принимается РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочнум рограмму научно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых в чоссийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса <i>MY</i> Б.В. Загреев	экспериментов в «Долгосрочную пр	ограмму научно-прикладных исследований
РЕШЕНИЕ: Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочнуя рограмму шучно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых в чеснийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса <i>Ту</i> Б.В. Загреев	жспериментов, планируемых на РС У	MKC», принимается
Ввести космический эксперимент «УФ атмосфера» в «Долгосрочную рограмму научно-прикладных исследовазий в экспериментов, планируемых в чосийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса <i>ТУУ</i> Б.В. Загреев	РЕШЕНИЕ:	
рограмму научно-прикладных исследований в экспериментов, планируемых в оссийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса РУЗУ Б.В. Загреев	Ввести космический экспери	мент «УФ атмосфера» в «Долгосрочнув
оссийском сегменте МКС». И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса ТУУУ Б.В. Загреев	программу научно-прикладных иссл	елований и экспериментов, планируемых и
И.о. учёного секретаря КНТС Роскосмоса <i>Ту</i> Б.В. Загреев	Российском сегменте МКС».	
КНГС Роскосмоса УУУ Б.В. Загреев	И.о. учёного секретаря	1
The last and	КНТС Роскосмоса	My B.B. Jarpeen
The la canal		
	This I as	<i>9</i>

Three steps of demonstration

- 1. Mini-EUSO on ISS
 - Proof of Principle Mission
 - 25 cm UV telescope
- 2. EUSO class telescope (K-EUSO) on ISS
 - Technical Demonstrator for laser Removal
 - 2.5 m UV Telescope CAN Laser System
- 3. Dedicated Removal Mission
 - Dedicated system of Laser removal

2.EUSO class telescope (K-EUSO) on ISS

- Technical demonstrator of Laser Removal
- 2.5m UV telescope FoV= $\pm 30^{\circ}$
- 1.5 m Cassegrain for tracking
- CAN laser system 100 kW and 10⁴Hz
- Operation Range: 100 km
- 10 (Backward)-300 (forward) debris



Debris Flux at ISS orbit (~400 km)





Three steps of demonstration

- 1. Mini-EUSO on ISS
 - Proof of Principle Mission
 - 25 cm UV Telescope
- 2. EUSO class telescope (K-EUSO) on ISS
 - Technical Demonstrator for laser Removal
 - 2.5 m UV Telescope CAN Laser System
- 3. Dedicated Removal Mission
 - Dedicated System of Laser Removal

3. Dedicated Debris Removal System

- Polar orbit from 1000 km→600 km
- 2.5 m EUSO + Space CAN laser (500 kW)
- Operation Range: 100km
- 10³(backward)-10⁵ (forward) operation
- Most of debris (1-10 cm can be remove)

Polar orbit (~800 km)



Parameters of Systems

	Prototype on ISS	Technical Demonstrator on ISS	Dedicated system
Target Debris Size (cm)	>1	10>a>0.5	10>a>0.5
Target Debris Distance (km)	10-100	100	100
EUSO Aperture (m)	0.25	2.5	2.5
EUSO FoV	$\pm 14^{\circ}$	$\pm 30^{\circ}$	$\pm 30^{\circ}$
Tracking Optics (m)	0.1	1.5	1.5
Laser system	Solid state	10 ⁴ fibre	10 ⁴ fibre
Pulse Energy (J)	0.1	10	10
Pulse Duration (ns)	1	0.1	0.1
Repetition rate (kHz)	0.1	10000	50000
Average power (kW)	0.001	100	500
Event per year	20-30 (detection) 2-3 irradiation)	10 (backward) 300 (forward)	10 ⁵ (forward) 10 ³ (backward)

Summary

- Reentry by Laser Ablation: 1-10 cm
- Laser ejection from Space craft
 - Detection EUSO telescope
 - Super wide field (~60°), super high speed (~microseconds)
 - Tracking system of 1.5 m and CAN laser (100-500 W)
- Three steps
 - Mini-EUSO: IUV window on ISS
 - EUSO+ CAN laser on ISS
 - Dedicated free flyer polar orbit 1000 km \rightarrow 500 m
- Rotation suppression: ~1W

気球実験 CNES+JEM-EUSO Collaboration



気球飛行 2014 August 23



Laser flasher event



光学試験





Laser track

Helicopter equipped with laser and xenon flasher (NASA funding)







無事着水

