

CCSDS における光通信技術の標準化活動について（その2）

荒木 智宏、稲川 慎一

独立行政法人宇宙航空研究開発機構（Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA）

araki.tomohiro@jaxa.jp, inagawa.shinichi@jaxa.jp

1. はじめに

宇宙データシステムの国際規格を検討／推奨する委員会として 1982 年に各国の宇宙機関により設立された宇宙データシステム諮問委員会（CCSDS：Consultative Committee for Space Data System）がある。CCSDS の活動は、ISO の一部を成しており、CCSDS で制定された技術勧告（Blue Book, BB）は、その後 ISO 化される。

本稿では、CCSDS に 2014 年 1 月に設置された Optical Communication Working Group (SLS-OPT)での進捗について、2014 年の報告^[1]に続き、2015 年 11 月 9 日～12 日の WG 会合を踏まえ、報告するものである。（CCSDS における宇宙光通信の位置付け、経緯については、参考文献^[1]を参照願いたい）

2. SLS-OPT における検討状況について

本 WG で作成予定の以下の 4 文書にかかる調整状況について報告する。

- ①物理層の技術勧告書（[Blue Book, BB] Optical Communications Physical Layer）
- ②符号 / 同期サブレイヤの技術勧告書（[BB] Optical Communications Coding and Synchronization）
- ③光通信に関する技術解説書（[Green Book, GB] Optical Communications concepts and terminologies）
- ④気象・大気観測データの取り扱いに関する技術解説書（[GB] Real-time Weather and Atmospheric Characterization）

宇宙での光通信と一口に言っても、近地球での通信から惑星探査用の深宇宙通信まで多様である。

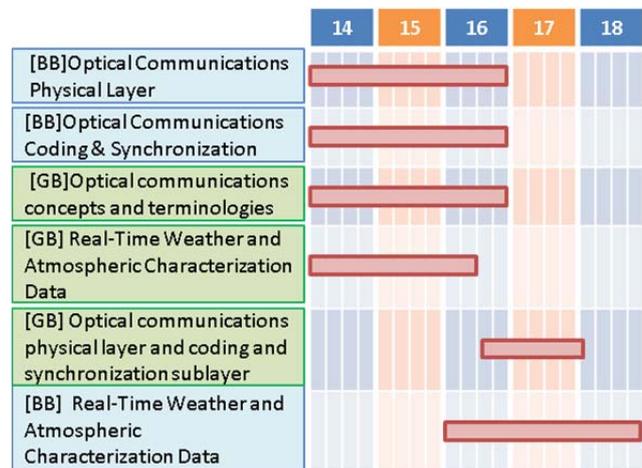
WG 開始までの議論を踏まえ、①～③については、

- (1) 主に Gbps オーダの光衛星間通信向けの位相変調(PSK)方式
- (2) 月・深宇宙探査での通信用のパルス位置変調(PPM)方式
- (3) 主に低軌道の小型衛星からの比較的低速(1Gbps 以下)で機器構成が簡易な通信用の、強度変調方式(IM/DD)

の 3 方式に区分されて作成される予定である。なお、JAXA が開発を開始した光データ中継衛星^[2]は(1)のカテゴリであり、一方、NICT が開発し、2014 年 5 月 24 日に打上げられた SOCRATES 衛星搭載の Small Optical Transponder (SOTA)^{[3][4]}は(3)のカテゴリで、SOTA の成果も勧告書に反映される予定である。

表 1 の活動計画に基づいて、技術標準化を 2018 年 12 月までに完了させる予定である。但し、後述する様に、Gbps オーダの光衛星間通信向けの位相変調(PSK)方式における米欧対立が長引いているため、先の①と②の 2 冊の BB と、その解説書の GB に関してはスケジュール遅延が懸念される状況である。

表 1 活動計画(2015/11)



3. 第4回 SLS-OPT の概要

第4回 SLS-OPT は、CCSDS2015 秋季会合内で、2015年11月9日から11日にかけて、ドイツダルムシュタット中心部の Darmstadtium 国際会議場にて開催された。SLS-OPT の WG は、過去3回常に参加していた米国航空宇宙局 NASA、欧州宇宙機関 ESA、JAXA、ドイツ航空宇宙センター DLR、フランス国立宇宙センター CNES に加え、ロシア宇宙庁 RSA、中国の中国航天工業公司 CASC からの出席者も加えた総勢 30 名を超える大規模 WG として開催された。会議の様子を、図 2 に示す。



図 2 SLS-OPT WG の様子 (著者撮影)
主要な討議内容は以下の通りであった。

3.1 Gbps オーダの光衛星間通信向けの位相変調(PSK)方式の討議結果

既報[1]の第1回会合より、DLR が開発し ESA が構築中のデータ中継システム (European Data Relay System, EDRS) で使用される、光通信装置 LCT(Laser Communication Terminal) [5][6]の方式 (以下、ESA/DLR 方式) と、NASA が主張し、実験機である光データ中継ミッション(Laser Communication Relay and Demonstration, LCRD[7],2018 打上げ予定)として開発中の、使用波長として光ファイバ通信と同じ $1.5\mu\text{m}$ 帯を使用する、通信速度・符号が LCT と異なる方式 (以下、NASA 方式) の 2 方式が互いに自方式を標準

化すべきと譲らず、

1)物理層は両方式を別の BB とし、上位層である Code & Sync 層で1つの方式で統合する、

2) 両案とも Experimental Specification [Orange Book と呼称される]として制定し、所謂国際標準である勧告書(Recommendation, Blue Book)化はいわば棚上げし、今後はこの分野の動向に任せる (注)、

の 2 案がこれまでに議論された。1)は、2014 秋の第 2 回 WG(ロンドン)において提案された案であるが、今回においても 2 方式を統合するための Code and Sync 案は見いだせておらず、NASA、ESA/DLR による検討が続いている。

CCSDS 技術会合の幹部も加わった討議の結果、物理層においては、1冊の BB の中に項を変えて 2 方式を併記する方針でようやく会議がまとまった。但し、2 方式併記は CCSDS の標準的な方法ではなく、上位のマネジメント組織 (CCSDS Engineering Steering Group)での判断次第では、WG に差し戻される危惧がある。

JAXA からは、開発が始まった我国の光データ中継衛星[8]の概要について紹介した。

なお、NASA、DLR は、高速光通信を衛星からのデータ中継のみならず、無人機などの航空機からのデータ中継に用いることも視野に入れ活動している。

3.2 月・深宇宙探査での通信用のパルス位置変調(PPM)方式

NASA ジェット推進研究所 JPL より、物理層及び C&S 層の BB 案が提示された。 $1.5\mu\text{m}$ 帯を使う所までは同意されているが、波長帯を C バンドと示すだけか、光ファイバ通信の ITU グリッドを用いると書くのか、特定の波長を指定するのか、多様な意見が出された。また、通信速度を規定するのか否かについてもまともならず、JPL が持ち帰り再度検討することとなった。偏光の定義は IEEE による定義に倣うことで同意された。なお、

本 WG 開始時に航空機への安全性、いわゆる Eye Safety のため使用波長帯として 1.5μ 帯が選ばれたが、 1μ m 帯も使用可能とすることとなった。これは、地上から探査機に送る uplink 用としては kW 級が必要となり、①この出力では 1.5μ m 帯でも Eye Safe でないこと、②技術的に 1.5μ m 帯での kW 出力のレーザを得るのは困難なことから、航空機が付近を飛行する際には光地上局を行わない安全対策を取ることで、各国の航空当局の了解を取ることもとなった。なお、同安全対策は、JAXA が増田宇宙通信所に設置している宇宙レーザ測距 (Space Laser Ranging, SLR) 局でも、同様の運用を行っており、我国でも実現性のある対策であると考えられる。

BB は、文書作成後の参加機関による実証 (Prototyping) を経て、正式な技術勧告として認められる。Prototyping 方法として、物理層はハードウェアを用いた試験、C&S 層はソフトウェアによる試験とする方向が了解された。

3.3 主に低軌道の小型衛星からの直接光通信用の、強度変調直接検出方式(IM/DD)

DLR-IKN(ミュンヘン)を中心に、NICT, CNES, JPL が加わったチームで BB の作成を行っている。本領域は、WG では Low Complexy と称され、強度変調直接検出方式(IM/DD)による、主として低軌道衛星から光地上局への高速データ伝送を実現する、低コストな直接光通信システムを扱っている。今回は、データレートを、地上で受信後のネットワーク接続を考慮した SONET/SDH に合せたものとするか議論となり、議論が収束せず継続審議となっている。また、NASA は Cubesat 用に本技術への興味を示し出し、Mbps 未満の低伝送レートのサポートの規定を要求してきた。BB 作成チームで、早期に検討することとなっている。前項と同様に光地上局からのビーコン送信についても議論となり、過去に Eyesafe の観点で使われないとされた波長 1μ m も、口径 60cm 級の光アン

テナで拡大して送信すれば問題ないとする ESA の主張が入れられ、 $1\mu/1.5\mu$ 併記となる見込みである。我国の実績では、SLR 局では国交省交通局の指導で波長に依らず航空機運用を避けて運用していることから、2 波長併記となっても問題はない。

3.4 気象・大気観測情報共有方法の解説資料

気象・大気観測情報共有方法の解説資料は、NICT がまとめた第 2 ドラフトについての最終的な議論が行われ、WG での議論としてほぼ完結した。2016 年 4 月の次回会合で WG 活動として完了の見込みである。また、NICT よりマゼンダブック (Recommended Practice, 推奨実践規範) の作成が提案されたが、可否は次回に持ち越されている。

4. その他のトピック

CNES より、CNES 地上局による SOTA の受信実験結果が報告された。内容の詳細は学会発表⁸を参照頂きたい。光地上局に補償光学技術を導入するし、安定して受信することに成功している。

ESA より、Asteroid Impact Misson での光通信実験構想の紹介があった。同構想の詳細は学会発表は参考文献⁹を参照頂きたい。探査機に搭載される、熱赤外センサを兼ねる光通信装置で、最大 0.5 天文単位、7,500 万 km からの光通信実験を 2022 年までに行おうというものである。会議の場で、NASA から同計画への参加が表明された。この実験に必要な光地上局は口径 1m のものである。我国で NICT および JAXA が保有している光地上局でも技術的に通信実験への参加が可能であろうと筆者は考えており、今後、国内関係者と議論を行う予定である。

最後に、CASC から、中国が進めている光データ中継構想の発表があった。これはこれまで学会等で公開されていないものである。PSK 変調をデジタルコヒーレント復調器で復調する方式で、ユ

ーザデータレートは、EDRS、光データ中継衛星を上回る 2.5Gbps を目指している。静止の中継衛星は 3 年後の打上げを目指している、ユーザとなる LEO 衛星は未定とのことであった。プレゼン資料の装置の写真からは必要なコポーネントの試作を行っていることが伺われた。

5. 終わりに

簡単ではあるが、CCSDS での宇宙における光通信技術の標準化活動の進捗状況について報告した。

宇宙活動の高度化に伴うデータ伝送需要の増大に応えるため、或いは商業通信における飛躍的な高速化を達成するため、宇宙光通信技術には大きな期待が寄せられている。筆者らは、多様なユーザが光通信技術を用いる際の道標となる国際標準化活動に継続的に貢献していく考えである。

注：オレンジブックは、狭義の国際標準ではないが、採用されるケースが増えてくれば、改めて技術勧告に昇格する(その後 ISO 化される)可能性があるものである。

5. 参考文献

- [1] CCSDS における光通信技術の標準化活動について
荒木智宏、稲川 慎一 Space Japan Review 86
(2014), <http://satcom.jp/86/index.html>
- [2] “JAXA’s Optical Data Relay Satellite Programme”
Shiro Yamakawa et.al., Proceedings of
International Conference on Space Optical
Systems and Application (ICSOS) 2015,
- [3] “SOCRATES の超小型光通信端末について” 第 57
回宇宙科学技術連合講演会予稿集 1H05 秋岡真樹、
高山佳久、小山善貞
- [4] “超小型日光通信装置(SOTA)軌道上通信実験(I)”
第 59 回宇宙科学技術連合講演会 3F01 宗正靖、竹中
秀樹、コレフディミタル、岩切直彦、秋岡真樹、小山
義貞、国森裕生、高山佳久、豊嶋守生
- [5] “European Data Relay System - One Year to Go!”

Harald Hauschildt et.al., Harald Hauschildt et.al.,
1S2, International Conference on Space Optics and
Systems and applications (ICSOS) 2014.

- [6] “Alphasat and Sentinel 1A, the first 100 Links”
Frank F. Heine. A Proceedings of International
Conference on Space Optical Systems and
Application (ICSOS) 2015,
- [7] “An Overview of NASA’s Latest Efforts in Near
Earth Optical Communications”, Bernard
Edwards. A proceedinds of Proceedings of
International Conference on Space Optical
Systems and Application (ICSOS) 2015
- [8] “Adaptive Optics Results with SOTA” Cyril Petit
et. al., A Proceedings of International Conference
on Space Optical Systems and Application (ICSOS)
2015
- [9] “Multi-Purpose Laser Communication System for
the Asteroid Impact Mission” Zoran Sodnik et al, A
Proceedings of International Conference on Space
Optical Systems and Application (ICSOS) 2015