

「宇宙光通信に関する議論と研究開発の動向」

東海大学通信工学同窓会10周年記念講演録

講師 高山 佳久先生

東海大学情報通信学部  
通信ネットワーク工学科教授

2016年5月28日

## はじめに

本書は通信工学同窓会10周年記念講演を受講できなかった会員の方々が「プレゼンテーションスライド資料」と共に講演内容が理解出来るように講師が話された内容をまとめたものです。(筆責 中西孝夫)

## 講師紹介

高山佳久先生、 東海大学情報通信学部、情報ネットワーク工学科教授

NICT(情報通信研究機構)で宇宙・空間光通信技術の開発研究に携わってこられました。

## 演題 「宇宙光通信に関する研究開発の動向」

特に宇宙にフォーカスして空間光通信をお話します。まだまだ新しい分野です。

何故光通信が注目されてきたか？

いくつかの観測衛星の利用例を紹介します。

## 宇宙利用例

### 1. 「宇宙利用例 (地球観測)」

全球降水観測計画GPM

陸域観測技術衛星2号ALOS-2 「だいち2号」(一号機は震災時活躍した)

水循環変動観測衛星GCOM-W 「しずく」

温室効果ガス観測技術衛星 GOSAT 「いぶき」温室効果ガス観測

月周回衛星 SELENE 「かぐや」 ほこりのサンプル採取

二周波降水レーダDPRによる降水の三次元分布 GPM/DPR

日本語の名前は打ち上げに成功してから日本語の名前をつける。

このような衛星からデータは分解能を上げた画像など膨大な観測データが送られてくる。

### 2. 「宇宙の利用例 (データ中継)」

SF作家 アーサー・クラークが唱えた静止衛星による通信中継で3台で広大な範囲(世界中)をカバーする。 観測衛星→静止衛星→地上→地上ネットワークが日本も含め各国で実証されている。

### 3. 「宇宙・空間光通信の特徴」

何故光は有利か？

電波とレーザー光を理想的条件で比較すると

電波 25 GHz の波長 12000 μm (12 mm) Ka バンド

レーザー光 1.5 μm

広がり角の比は 12000/1.5 → 光は8000倍鋭いビーム

照射領域の比は (8000) の2乗 → 64000000

光は単位面積当たり電波の6400万倍強い電力で照射,小さな装置で高速伝送が可能  
電波には限界があり(最速は日本の1.2 Gbps、きずな)、

“光は小さいアンテナで小さな装置で高速通信が可能”

#### 4. 「特有の技術：相手を探す1」

鋭いビームのため相手を探す技術が必要

ビーコン光を使用する技術、懐中電灯で相手を探す要領 (日本の技術)

探す側 (地上または衛星) ビーコン光 → 相手衛星

受信すると返答を通信光で打ち返す

相手を確認したのでビームを通信光に切り替え 返答

データ通信

#### 5. 「特有の技術：相手を探す2」

ビーコンを使用しないで、通信光で走査 (ドイツの技術)

探す側 通信光走査

相手側 通信光が検出された方向に通信光走査

上記走査を繰り返して相手を確認してデータ通信

#### 6. 「特有の技術：光を当て続ける」

衛星は高速で移動しています (7 Km・秒) インターネットの情報によるとライフル銃の弾丸は1 Km・秒

通信を保つためには光を当て続ける技術が必要です

サッカーのパスの様に相手の動きに合わせて前に出す様に光行差補正を行

います、光が相手に届く時間は 例 1000 km で3msです

#### 7. 「装置の構成例」

左側が受信部分です大きな円筒は電波パラポラアンテナの代わる望遠鏡です、

望遠鏡には追尾のための首振り機構 (粗追尾機構) がついています、

この機構の精度は 0.01度、170ラジアンです

しかし必要精度の0.0001度に上げるため、真ん中の精追尾機構があります

右側が送信部です、光行差補正機構がついています

宇宙での作用反作用が働くので宇宙で動くものを動かすのは難しい制御技術です

### 宇宙光通信の実績

#### 8. 「通信実績を年表にした図」

成功例を含めて5つに分類します

- 1) 静止 と 地上 1994年双方向通信に日本が成功しました  
2001年米国成功
- 2) 静止 と 低軌道 2001年低軌道→静止にフランスが成功  
2005年双方向通信に日本が成功 (全体で100回成功)
- 3) 低軌道と 地上 2006年双方向通信に日本が成功しました
- 4) 低軌道と低軌道 2007年双方向通信に米国 (軍) とドイツの間で成功

5) 静止と静止 未実施の分野です (欧州は既に衛星を打ち上げている)

6) 月と地上 2012年地上→月で米国が成功

2013年双方向で米国が成功

\*低軌道衛星は90分で地球一周します目で見える時間は約7分 (通信可能時間)

\*日本が使用した地上望遠鏡は直径1.5mで高い首振り機構 (追尾装置) が付いています

\*日本は5つのうち世界初3冠に貢献しています、静止<→>静止の問題は技術面コスト面、静止場所確保、及び国際調整が必要

\*火星<→>地上は視野に入っている

## 9. 「装置の例」

実績のある装置として、アンテナと電力に関しては

衛星アンテナは30cm以下

12.5cm 米国、ドイツ 5, 68Gbps用

26cm 日本 きらり

粗追尾駆動精度 0.01度、 精追尾精度 1 マイクロラジアン

電力 日本 きらりの実績 30mw、80mw で低軌道との通信に成功

ドイツ・米国 700mw - 1w 5.6Gbps

## 10. 「最近の成果」

日本 1.5 $\mu$ m波で低軌道<→>地上成功

## 大気の光通信への影響

### 11. 「光への大気の影響」

散乱、波面ひずみ、遮断 (雲による)

### 12. 「大気の影響の例 (ビームワンダー)」

大気の影響でビームのふらつきにより点が一つにならない

光伝搬方向の補正のため高速駆動鏡を使用する

### 13. 「大気影響の例 (焦点の移動、散在)」

光の波面の補正をする可変鏡を使用する (ハワイ、スバル望遠鏡の装置のように)

### 14. 「衛星<→>地上光通信システムへの影響」

双方から見て方向の検出の誤差があり、送信の方向に影響する→通信品質を悪くする、雲による遮断は通信不可

### 15. 「大気の影響への対策例」

雲に遮断の回避はサイトダイバーシティ方式 (複数の地上局を設置する)

気象庁データを下に高山先生の計算では7基の地上局で国内は年間約95%は可能

米国では雨のない砂漠地帯、欧州では降雨の少ない地中海があり数基の地上局で高い確率で接続できる結果を算出しており各国本気で実施しようと検討している

## 宇宙通信に関する議論と研究開発の動向

### 16. 「宇宙機関の会合」

実用化の前に標準化作業が始まっている

IOP（共同利用会議）が1999年に設立されJAXSAもメンバーで下記の4つの組織を持つ

IOAG（運用諮問機関）を親として下記を調整している

運用面でのCCSDS（宇宙データシステム諮問委員会）相互運用に関して  
周波数面でのSFCG（宇宙周波数調整グループ）

ICG（グローバルナビゲーション衛星国際委員会）2020年までに標準化

ISECG（国際宇宙探査調整グループ）

「雲」遮断回避の議論が始まっている

### 17. 「ITU-Rと宇宙機関間会合における議論の流れ」

国際電気通信連合（ITU）とのIOAG, SFCG, CCSDSとの会合

- \* 3 THZ以上の周波数の検討が始まっている
- \* 世界無線通信会議（WRC）で光の議論が始まった
- \* 2012年WRC報告では光通信システム間の干渉が問題との報告は無し
- \* 2012年IOAG Final Report 発行
- \* 2014年OPT発足

### 18. 「議論の主な論点」

#### 1. 波長 1064ナノミリあるいは1550ナノミリ帯中心

レーザーによる目への影響を少なくするためには1550帯が安全面で望ましい。

宇宙光通信実績 → 0.8 μm、1 μm、1.5 μm

大容量データへの適用 → 1 μm、1.5 μm

地上での利用 → 1.5 μm

#### 2. 検討対象 衛星間通信、衛星←→地上光通信

#### 3. 大気影響対応

大気によるレーザー光への影響の把握

サイトダイバーシティによる雲遮断回避

### 19. 「標準化議論スケジュール」

2015年から2017年間で標準化を目標にしている

### 20. 「これまでの通信波長」

0.5 μm、0.8 μm、1 μm、1.5 μmの実績がある

### 21. 「最近のプロジェクト」

地域、プロジェクト名、通信波長、通信方式（変調）、適用個所にまとめられている  
通信方式についての説明は

BPSK(Binary Phase Shift Keying) 2 相位相偏移変調(デジタル変調)

コヒーレント通信方式、感度が良い

PPM(Pulse Phase Modulation) パルス位相変調 (パルス変調)

IMDD(Intensity Modulation Direct Detection) 強度変調直接受信

光の強度で 0, 1 を識別、光通信の特徴

DPSK(Differential Phase Shift Keying) 差動位相偏移変調

## 2.2. 「日本の研究開発の流れ」

### 過去の実績

宇宙 衛星<->地上 きく6号

低軌道<->静止軌道 きらりと欧州の衛星

低軌道<->地上 きらり

空間 波長 1.5  $\mu\text{m}$  採用

伝送 40 Gbps 北海道大樹町で気球を上げて実験

### 現在の研究

宇宙光通信実証技術衛星 (SOCRATES) の超小型光通信装置(SOTA)

低軌道<->地上 1.5  $\mu\text{m}$  波を初めて採用して成功

### 今後の研究

宇宙光通信の更なる高速化

地上通信技術の宇宙への適用

## まとめ

5つの項目に関して話しました

宇宙の利用例

光通信の特徴、特有の技術

宇宙光通信の実績

大気的光通信への影響

宇宙光通信に関する議論と研究開発の動向

E n d