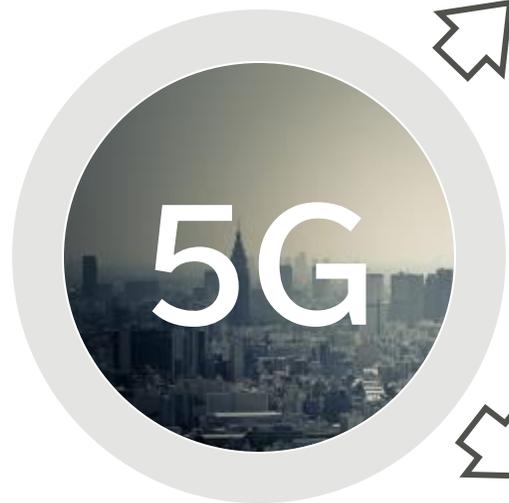


衛星通信を用いた6G NTN
信号機、車両とのインタラクション

地上網の発達



トラフィック増大

局数増大

ユースケースの多様化

多数局を収容可能な新たな通信方式の研究開発を先駆けて行うことが重要
同時に、周波数共有・利用効率の改善も実現

令和6年度の科学技術賞研究部門の文科大臣表彰
対象：航空宇宙通信の多角的な研究

Beyond 5G
6G への進化

非地上網の発達

衛星通信と
地上系ネットワークの連携

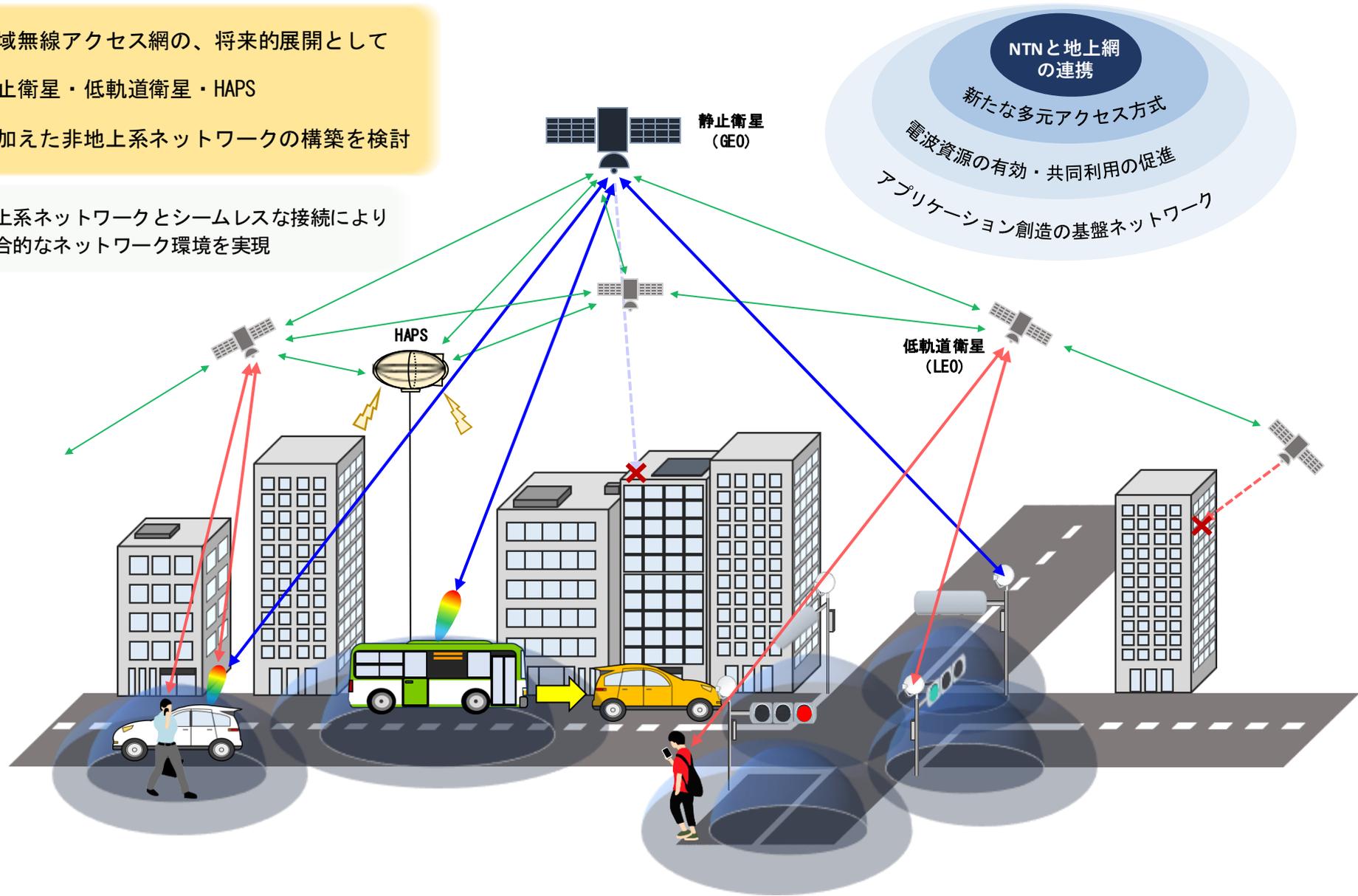
新たなアプリケーション
創造のインフラとしての価値



技術課
多数局のアクセス制御
低遅延通信の実現

広域無線アクセス網の、将来的展開として
静止衛星・低軌道衛星・HAPS
を加えた非地上系ネットワークの構築を検討

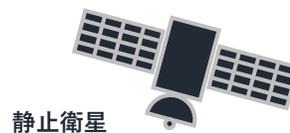
地上系ネットワークとシームレスな接続により
統合的なネットワーク環境を実現



広域無線アクセスにおける多元接続方式の研究開発

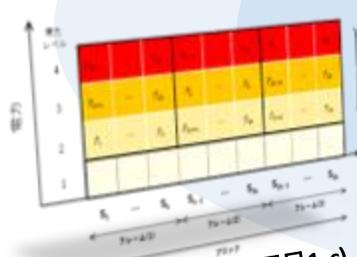
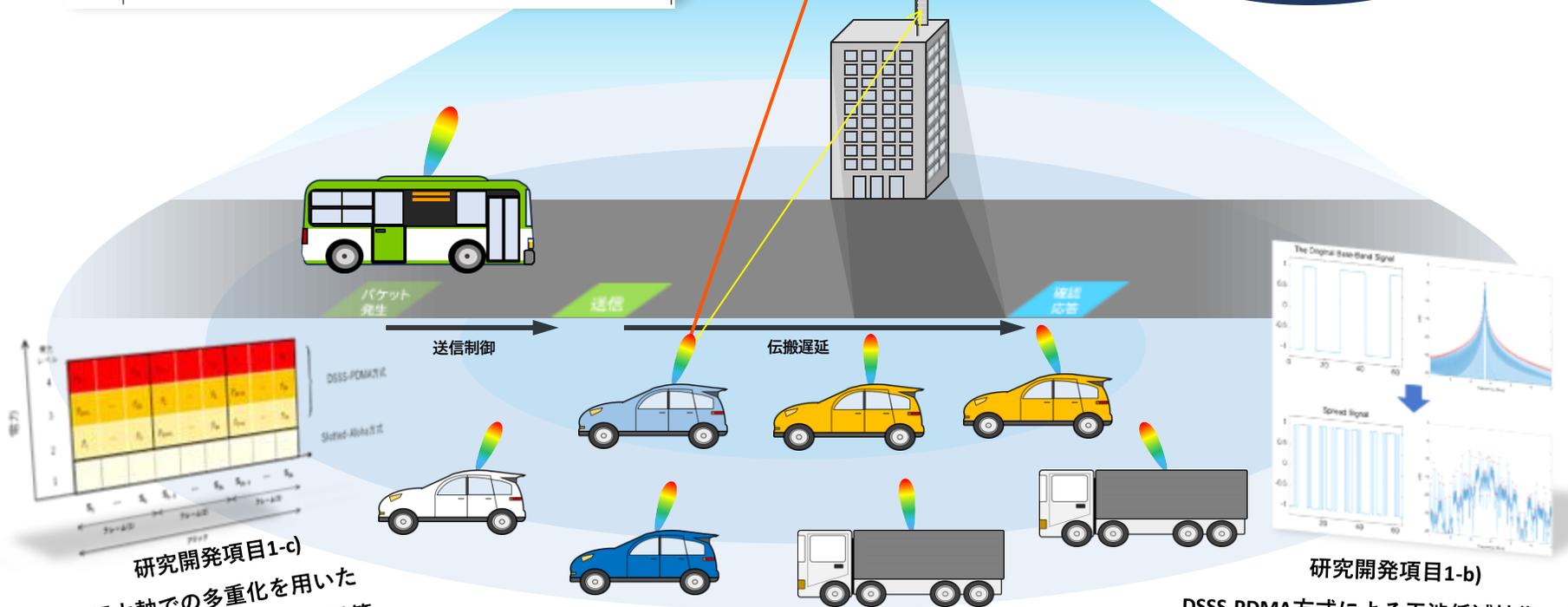
研究開発項目1-a) PDMAとNOMAの融合多元アクセス方式の構築

Power Level	4	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_5	P_6	P_7	P_8	P_1	P_2	P_3	P_4
	3	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_5	P_6	P_7	P_8	P_1	P_2	P_3	P_4	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}
	2	P_5	P_6	P_7	P_8	P_1	P_2	P_3	P_4	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}
	1	P_1	P_2	P_3	P_4	P_{13}	P_{14}	P_{15}	P_{16}	P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}	P_5	P_6	P_7	P_8
Slot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	Frame 1				Frame 2				Frame 3				Frame 4				
	Block																

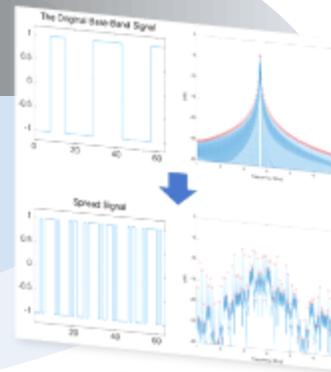


多数局収容の実現
遅延増大の抑止
×
周波数利用効率の改善
既存基地局への干渉低減

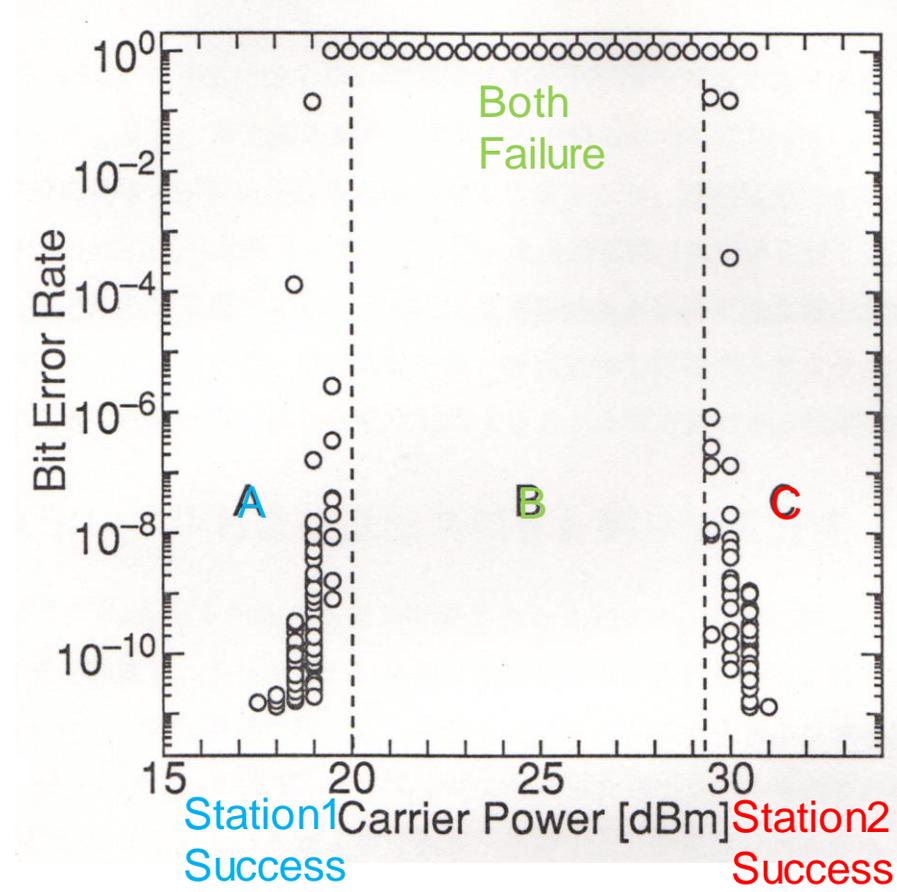
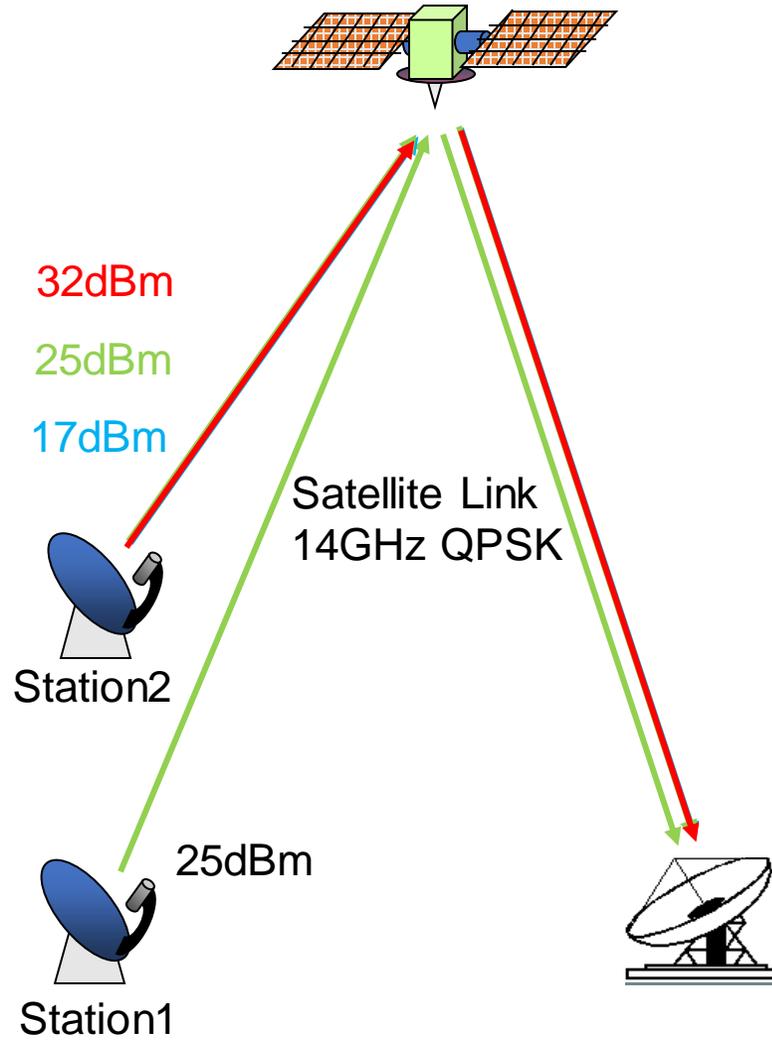
干渉電力

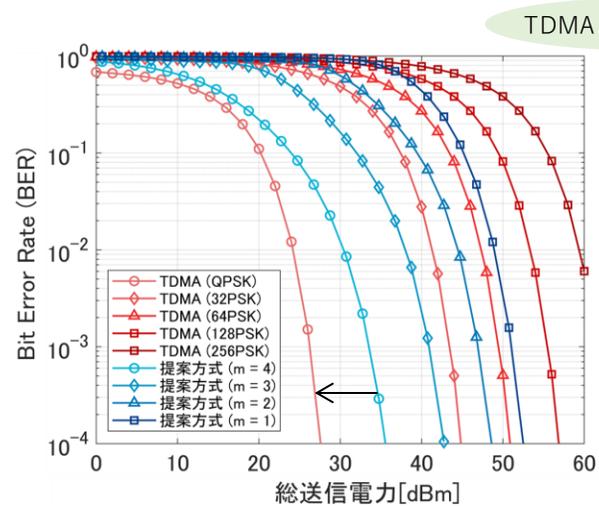
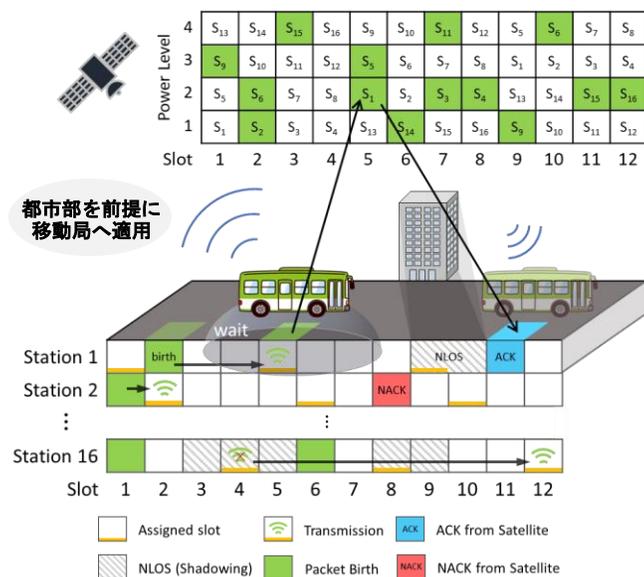


研究開発項目1-c)
電力軸での多重化を用いた
ランダムアクセス方式の構築

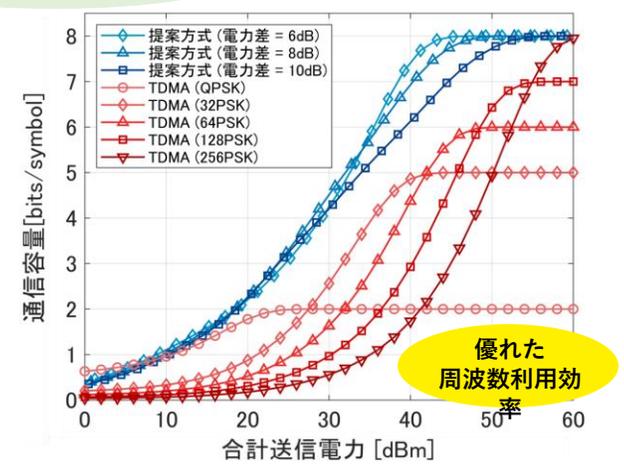


研究開発項目1-b)
DSSS-PDMA方式による干渉低減技術の検証





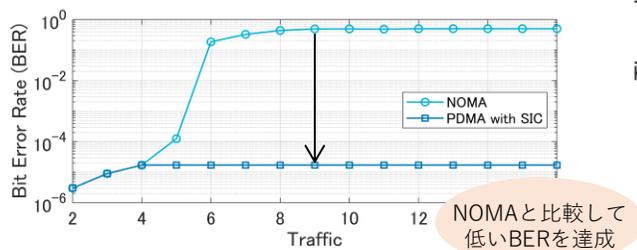
BER特性
(TDMA / 提案方式(QPSK))



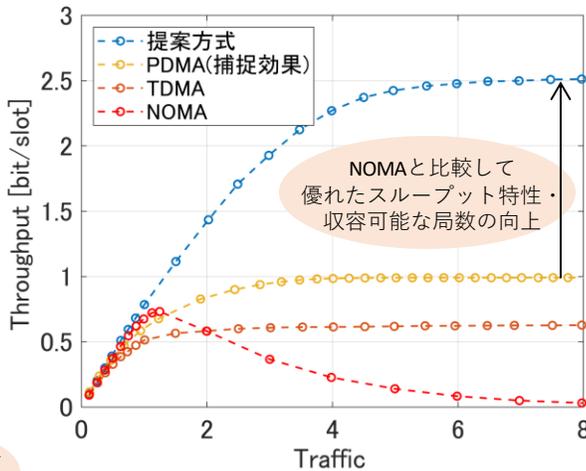
通信容量
(TDMA / 提案方式(QPSK))

通信特性・有効性評価を目的として
提案方式のシミュレーションを実施

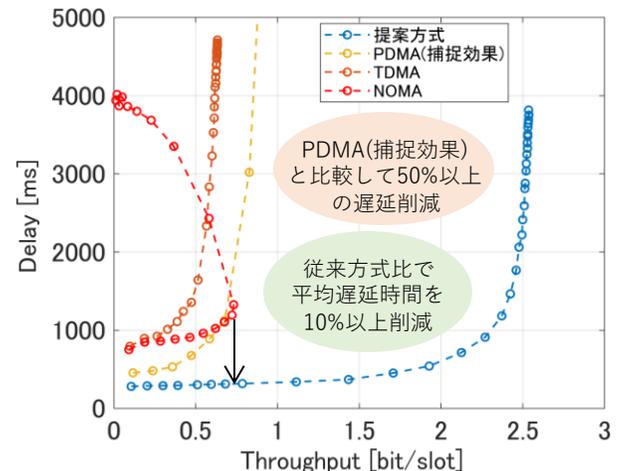
多数局(1000局)から静止衛星へのUL通信
を想定してシミュレーションを実施



BER特性 (NOMA / 提案方式)



トラフィック - スループット特性

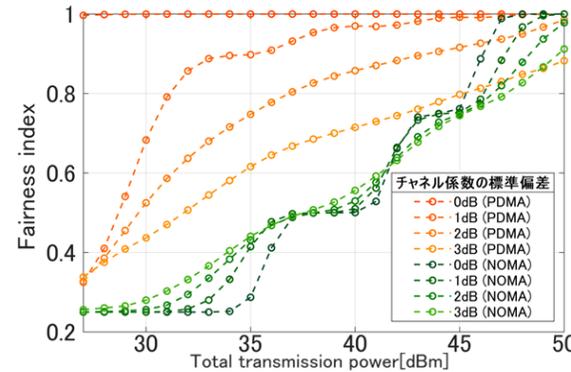


スループット - 遅延特性

広域無線アクセスへの適用を考えると、多数のユースケースが想定されることからQoS制御により所望のレートが確保できることが求められる。

表1 想定されるユースケース例

ユースケース	通信速度(UL)
Webブラウジング	1Mbps
センサデータ	375kbps
VICS(道路交通情報通信システム)	64kbps
衛星電話	15kbps

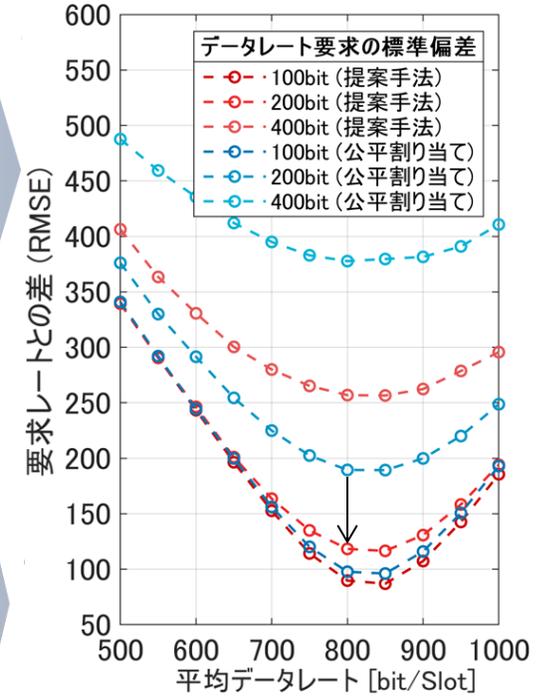


(a) PDMAとNOMAの公平性の比較

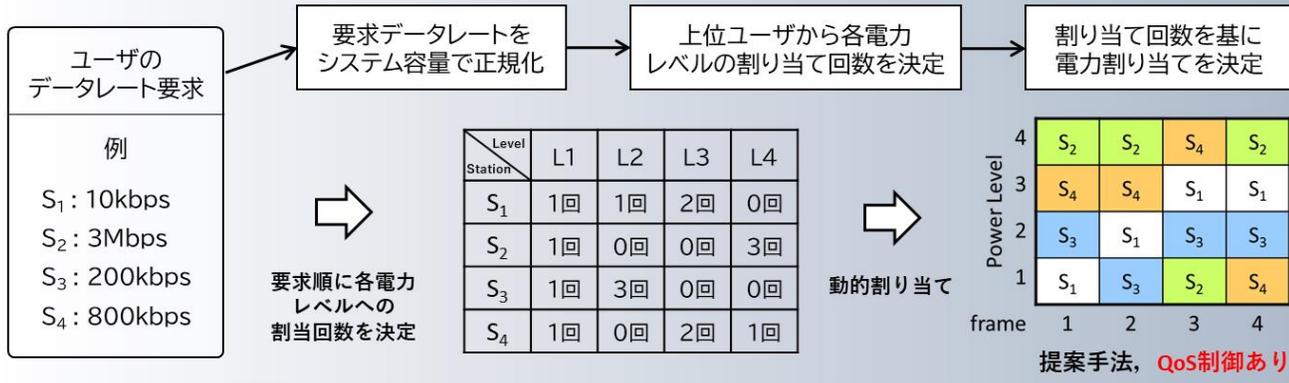
従来手法 (PDMA方式)

Power Level	4	3	2	1
frame 1	S ₄	S ₃	S ₂	S ₁
frame 2	S ₃	S ₂	S ₁	S ₄
frame 3	S ₂	S ₁	S ₄	S ₃
frame 4	S ₁	S ₄	S ₃	S ₂

公平割当, QoS制御なし



(b) ユーザの要求データレートと達成可能なデータレートとの差



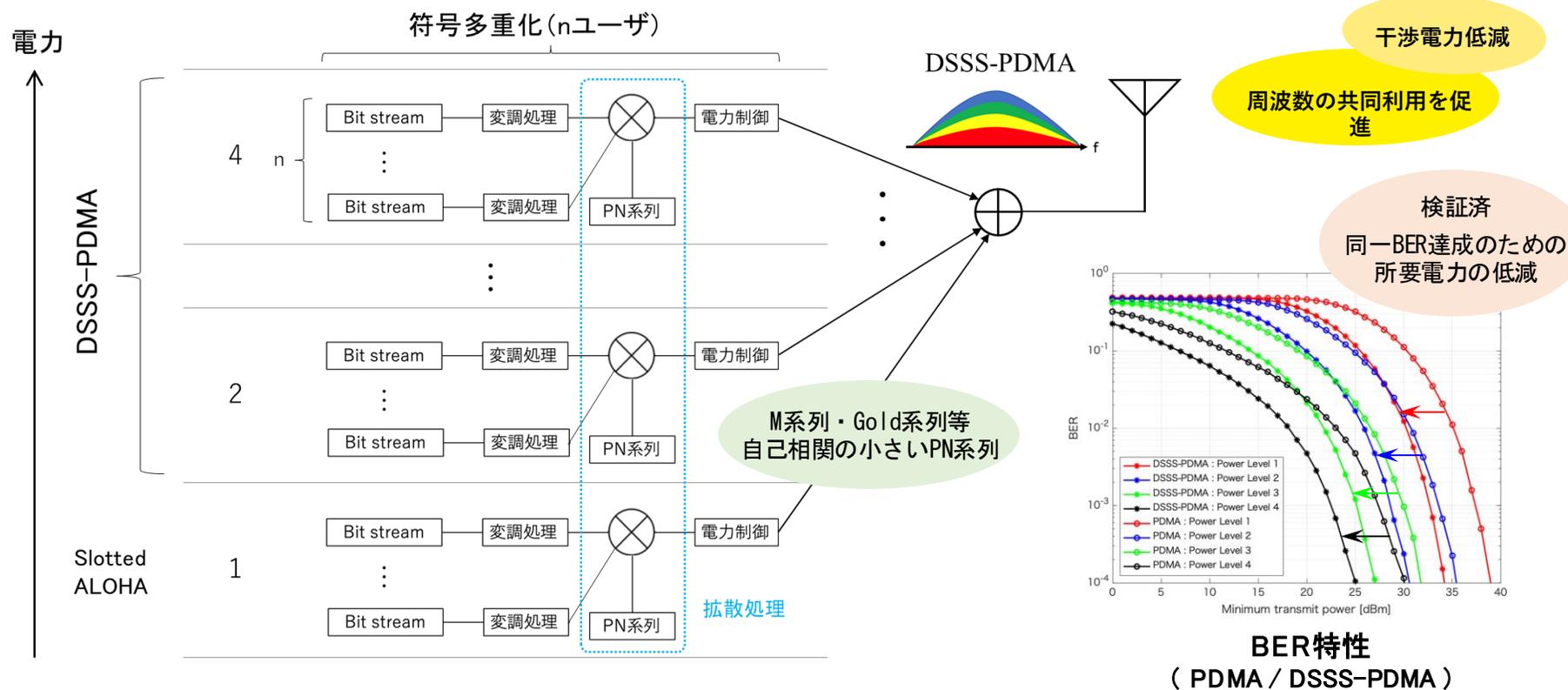
提案方式は電力レベル間で平均データレートに差が生じることを利用して要求に応じて電力を柔軟に割り当てることでQoS制御を実現

提案手法の適用によりユーザの要求に近いデータレートを達成

研究開発項目1-a)で提案するアクセス方式は

優先度に応じて電力を複数段階で分割するが、高電力化による干渉超過範囲の増大が懸念される。

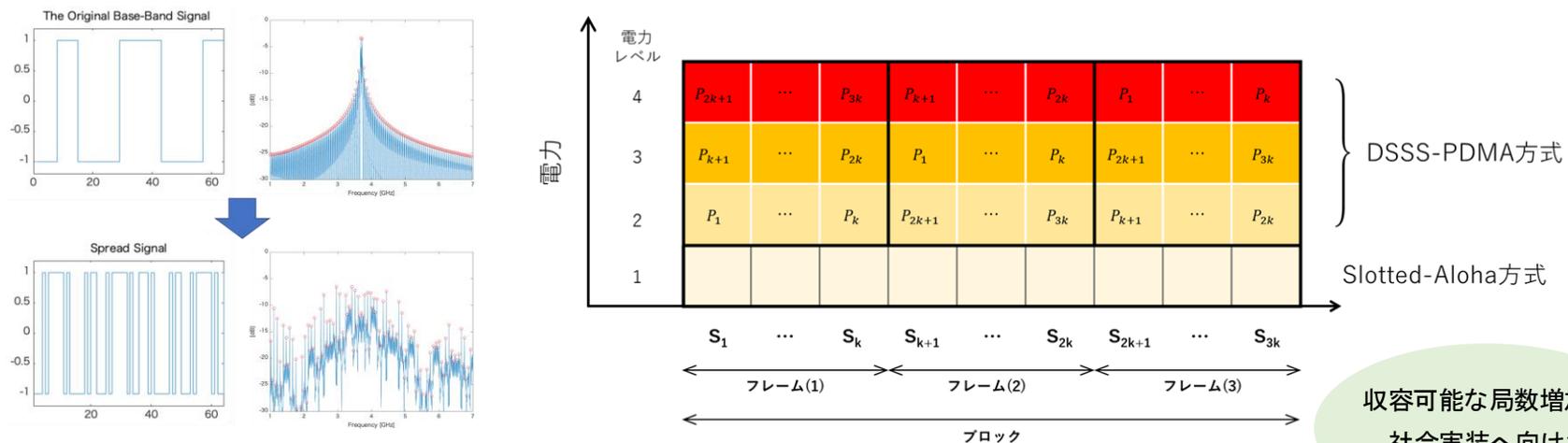
→ スペクトル拡散技術によって、ピーク電力を低減しつつ電力分割を行う方式（DSSS-PDMA方式）を提案



電力軸での多重化を用いたランダムアクセス方式

静止衛星との通信では、ビームの半径が広がりやすいから、多数の局が通信可能範囲に含まれる。

研究開発項目1-a), 1-b)で開発するアクセス方式よりもさらに多くの局を收容するために
低頻度のランダムアクセスの局を電力レベルの下位層に取り入れたハイブリッドな多元アクセス方式を提案する。



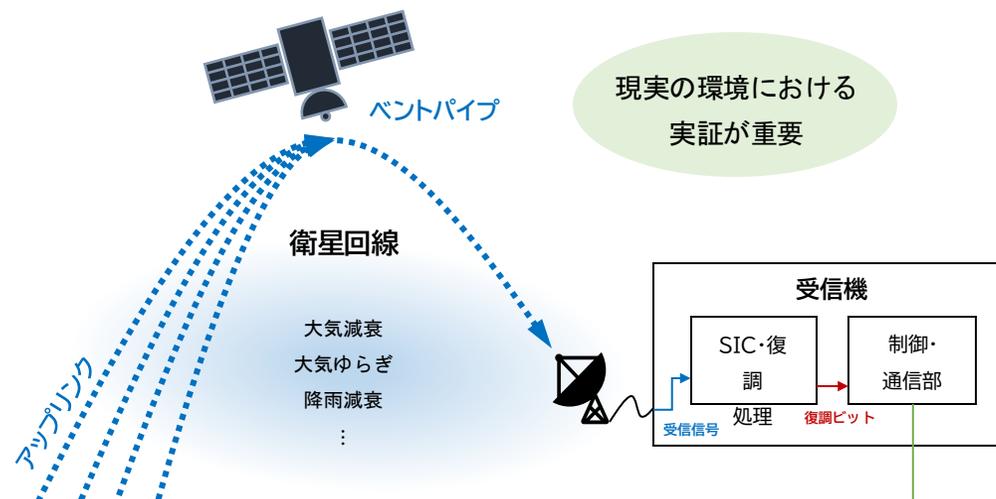
次年度の研究開発に向けて、理論的検討とユースケースの詳細化
遅延特性の解析やハイブリッドの度的な構成制御方法などの検討を進めている

実用を目指した提案方式のパラメータ最適化や
実験による通信性能評価を実施 (令和6年度)

研究開発の最終段階 (令和7年度) は、民間通信
衛星を用いた実証実験を実施して有効性を確認

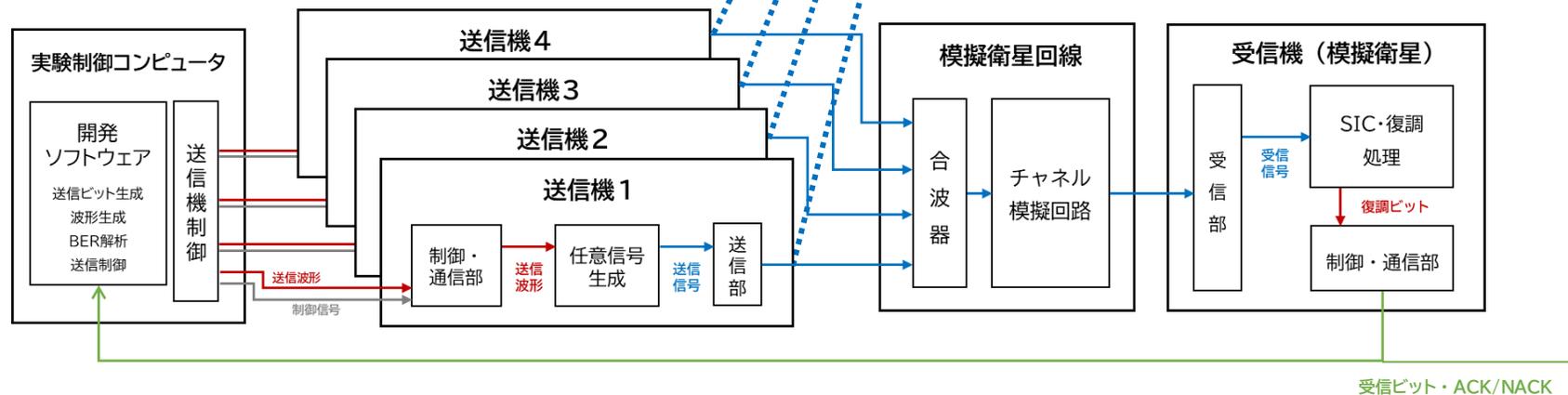
本提案の有効性・優位性の検証に加えて
今後の社会実装に向けた課題等を確認・検証

令和7年度 (民間通信衛星を用いた実証実験)



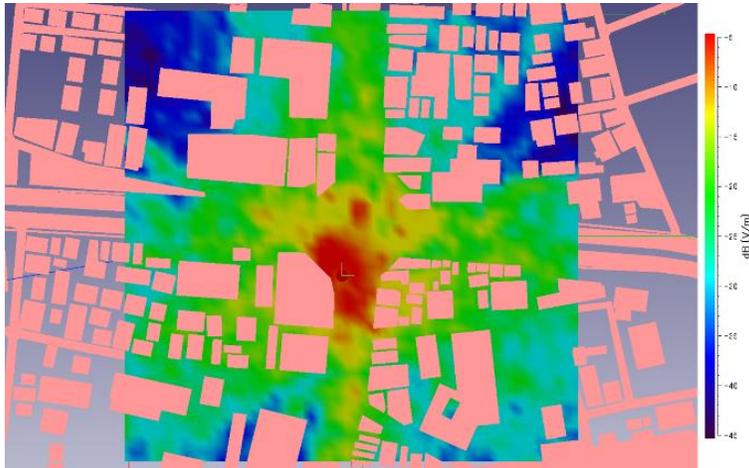
現実の環境における
実証が重要

令和6年度 (ラボ内性能評価実験)

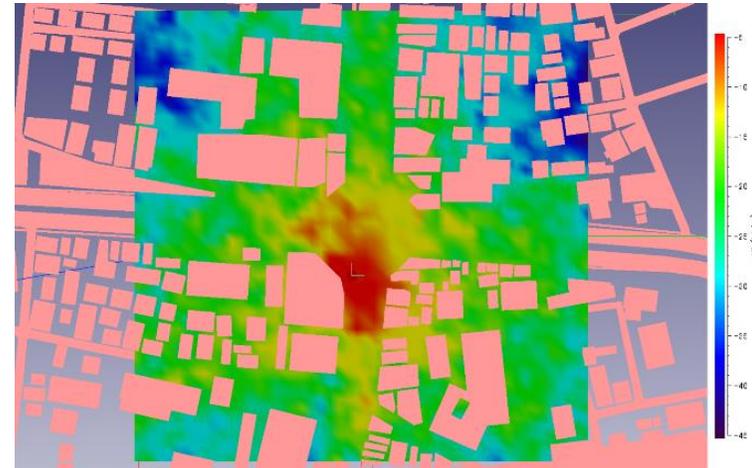


交差点の信号機からの電波伝搬

- 桃色部分は建物
- 同道路上は比較的効率がよい
- アンテナ付近はあまり差は見られず
- 100m以上離れた建物の裏では4GHzが優れている

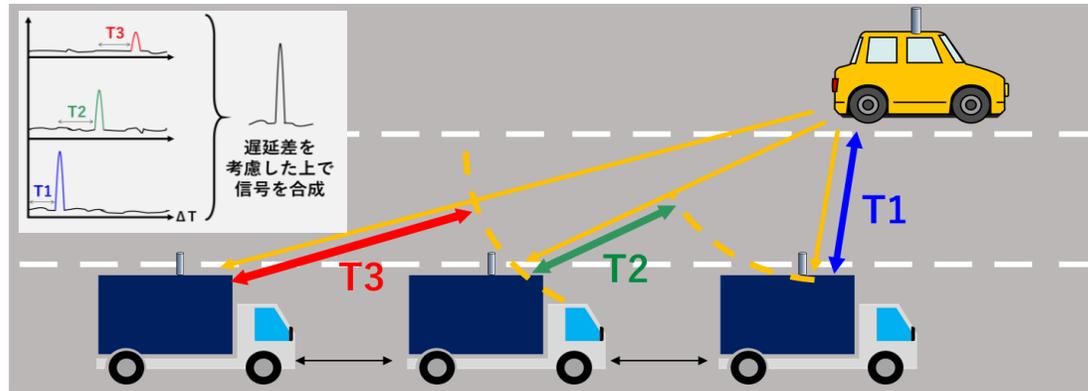
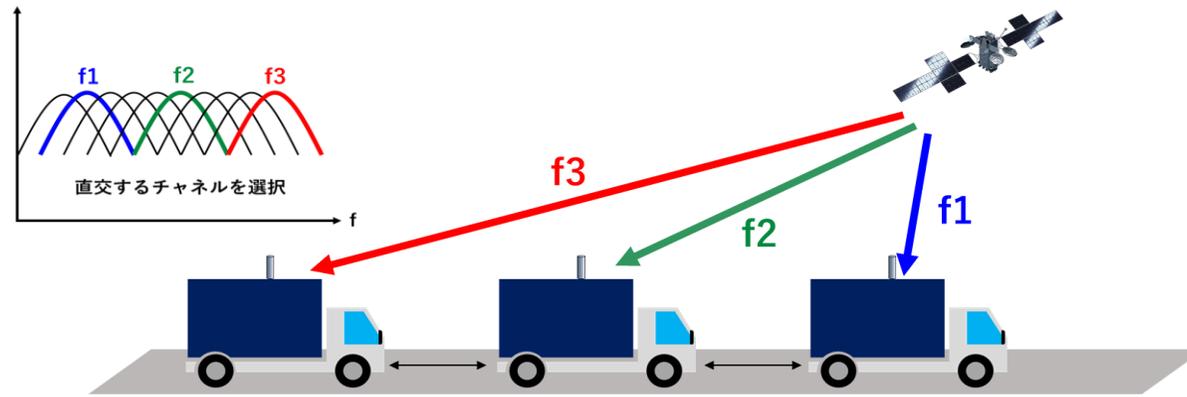


信号機からの電波伝搬 (28GHz)



信号機からの電波伝搬 (4GHz)

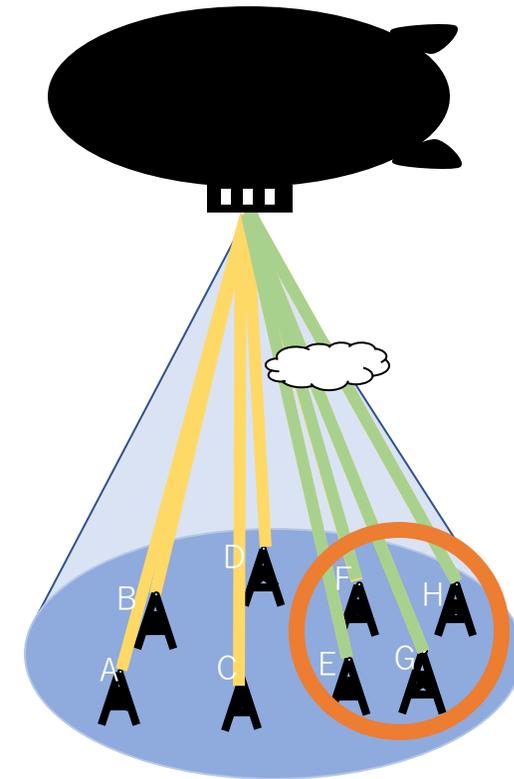
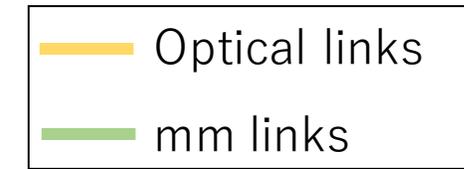
Mobile Satellite Communication for Platooning Cars



光と無線を用いたHAPS(成層圏プラットフォームホーム通信)

1. 一定間隔置きに地上局からHAPSへ, チャンネル状態測定用の光信号を送る
2. HAPS側で受信電力を測定し, 各ユーザのチャンネル状態を推定
3. 推定結果を基にHAPS側で各ユーザの割当 (光/ミリ波, PDMAにおける電力レベル) を決定
4. 地上のユーザへ割当を通知
5. 地上からHAPSへデータを送信

		Timeslot 1		Timeslot 2		Timeslot 3	
		optical	mm	optical	mm	optical	mm
Power level	1	A	E	D	H	C	G
	2	B	F	A	E	D	H
	3	C	G	B	F	A	E
	4	D	H	C	G	B	F



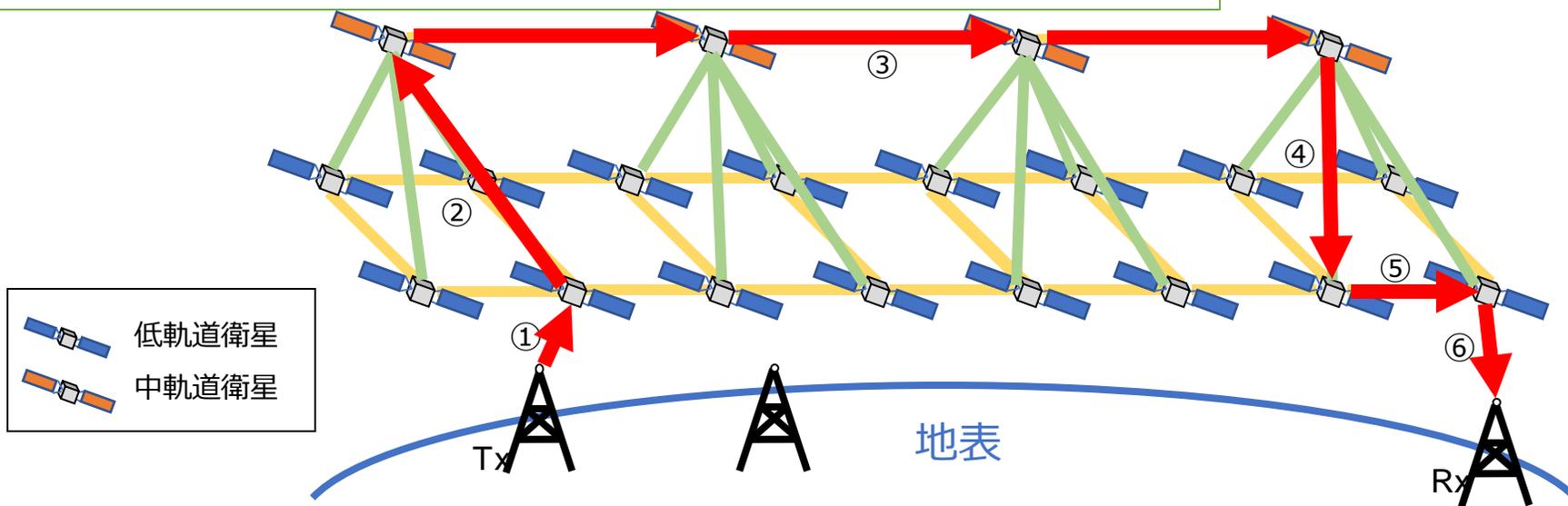
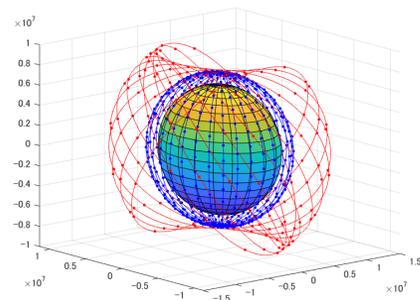
低軌道衛星通信

Low Earth Orbiting Satellite Communication

光と無線を併用した多層グローバル低軌道衛星網

通信手順

- ①地上局Txから最寄りの低軌道衛星へ送信
- ②低軌道衛星から最寄りの中軌道衛星に向けて送信（アップリンクNOMA）
- ③中軌道衛星間のリンクを使用してRxから最も近い中軌道衛星まで送信
- ④中軌道衛星から最も近い低軌道衛星へ送信
- ⑤低軌道衛星間のリンクを利用してRxから最も近い低軌道衛星まで送信
- ⑥低軌道衛星から地上局Rxへ送信



Combining low and mid orbit satellite to configure global network

