



5G NR Sub 6ネットワークにおける8T8Rの役割

Amar Mandhyan (アマール・マンディアン)

要旨

5Gは、モバイル通信事業者が顧客に大きなキャパシティと、エンドユーザーへの優れたエクスペリエンスを届けてデータへの飽くなき要求を満たすための、新しい機会を種々もたらしてくれます。しかし、これを活用するには下準備をしっかりと行う必要があります。それは、アンテナとRFパスを正しく選択しなければならない事を意味します。

5Gに続く道筋には対処すべき課題がいくつもあります。無線機器の構成はどうか、各サイトにいくつのビームが必要か、どのようなMIMO戦略で臨むのか。

このホワイトペーパーでは実際的なネットワークの計画において使えるソリューションを吟味します。そのため8T8Rの利点を他のソリューションと比較して、期待されるカバレッジとキャパシティを効率的、効果的に達成する方策を探ります。

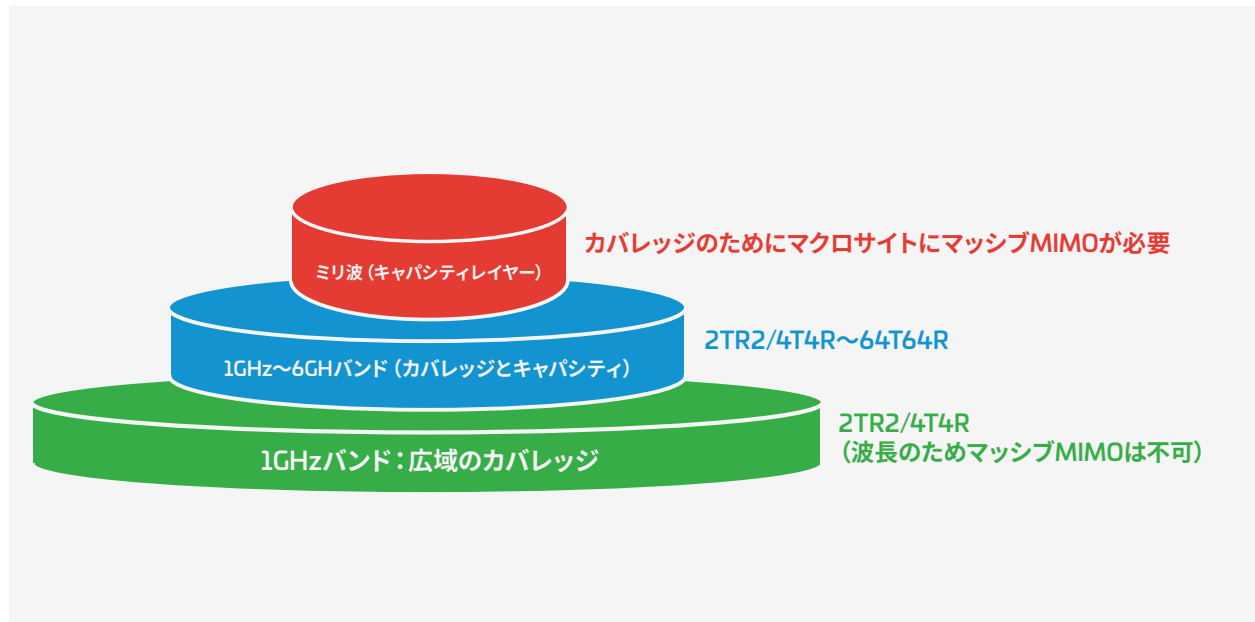
Amar Mandhyan (アマール・マンディアン)
モバイルネットワークエンジニアリング担当シニアディレクター

目次

はじめに	2
無線機器の比較	2
キャパシティとコストの比較	3
水平カバレッジの比較	5
8T8Rビームフォーミングアンテナと4T4R MIMOアンテナのカバレッジ比較	6
ネットワークシナリオに基づいたコスト/パフォーマンスの分析	7
トラフィック需要とコストの比較	7
まとめ	10

はじめに

無線機構成に関しては、ミドルバンド周波数帯（1GHz以上）からSub 6バンドにおける5Gの展開に最も多くの選択肢があります。選択肢には2T2Rから64T64Rまで幅広くあり、これは1GHz以下のバンドでは波長の長さのために2T2Rまたは4T4Rしか選べないこと、またミリ波バンドでは屋外マクロ展開で十分なカバレッジを確保するにはマッシブMIMO（mMIMO）しか選べない状況とは異なります。



ミドルバンドで幅広い無線機構成から選べることは良いことではありますが、通信事業者には正しい選択をしなければならないというプレッシャーもあります。あるサイトで無線機構成を誤ると、次のような結果を招いてしまいます。

- ネットワークキャパシティとカバレッジが不十分。このためネットワーク品質の問題が発生し、また短期間の内にサイトのアップグレードのために再度投資が必要になる。
- ネットワークキャパシティとカバレッジを大きめにとると、設備投資と運用コストが非効率になり、投資利益率（ROI）が悪くなる。

このホワイトペーパーでは、5Gネットワークの設計での8T8Rの利点を、他のオプションと比較しながら解説します。

無線機器の比較

アンテナに関して正しい選択をすることは、サイトのカバレッジとキャパシティを適切に確保するために重要な要因です。

キャパシティとカバレッジについて増え続ける要求に対して、通信事業者はアンテナと無線周波数（RF）パスのアップグレードを行うことで、新たなサイトを追加することなく、既存のサイトのみで対応することができます。

以下、4T4Rから64T64Rの様々な無線機構成を、キャパシティ、カバレッジ、コストの点で比較し、またこれらの構成それぞれに対してどのサイトが最も適しているかを検討します。

比較のため、4T4Rが5Gの最小のアンテナ構成とし、それ以上の構成は4T4Rに対して標準化されているものとします。これは、5GのデバイスはSub 6のすべてのバンドで4つのRFパスを受信できることが期待されているからです。次世代モバイルネットワークアライアンス（NGMN）は、5Gデバイスに対して次のMIMO構成を推奨しています。

周波数帯域	ダウンリンクMIMO	アップリンクMIMO
1GHz以下 NRバンド	2x2 必須 4x4 推奨	1x1 必須 2x2 推奨
NR FR1 バンド、1GHz以上	4x4 必須	1x1 必須 2x2 推奨

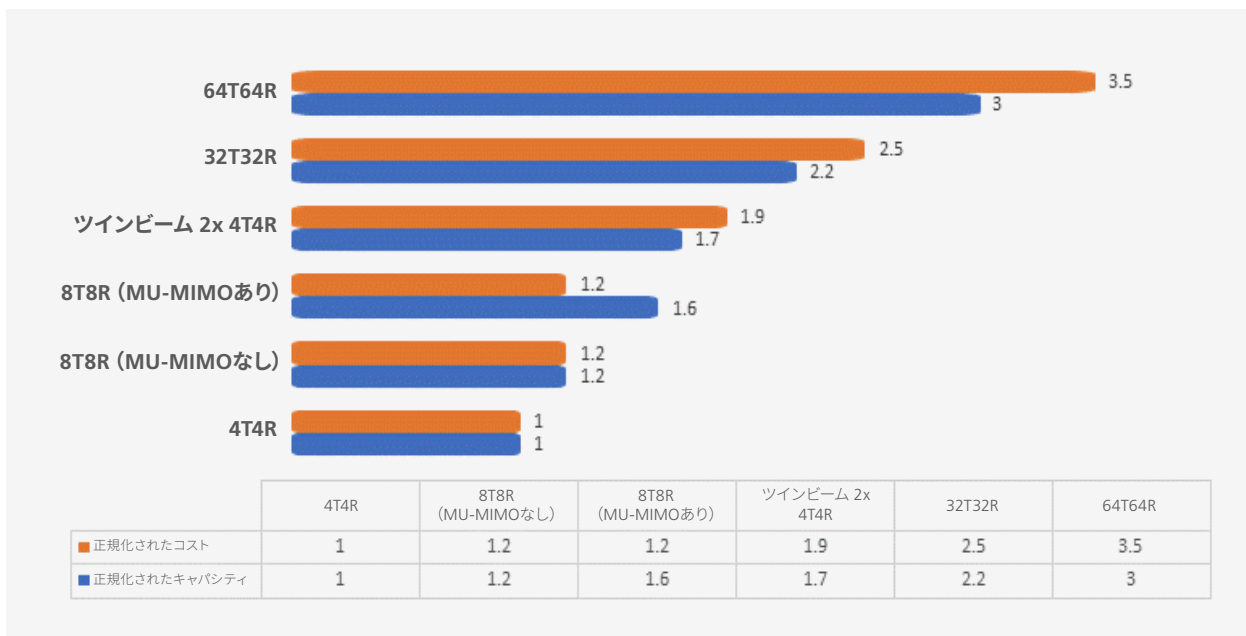
表:NGMNによる5GデバイスのMIMO機能の推奨

キャパシティとコストの比較

下のグラフは、様々なRFパス構成でのキャパシティと設備投資額の比較を示します。

このグラフはキャパシティの簡単な比較で、正確なものではありません。コストは市場によって異なり、また基地局ベンダーの戦略に大きく左右されます。

4T4Rからツインビームの構成はパッシブアンテナソリューションの中に入り、32T32Rと64T64Rはアクティブアンテナソリューションに入ります。



グラフとその他の関連する市場に関して、次が指摘できます。

- MU-MIMOのない8T8Rは、そのソリューションのコストがキャパシティに関するメリットに相応したものであれば、投資利益率の観点から理にかないます。8T8R無線機器のコストは、基地局ベンダーと市場によって大きく異なります。このオプションは市場によっては、コストとパフォーマンスの間でうまく釣り合いを取れるならば、TDDバンドでの4Gネットワークの通信事業者にとって良い選択肢です。これが5Gネットワークでも採用されるかどうかは、これからも基地局ベンダーの価格設定戦略にかかっているでしょう。

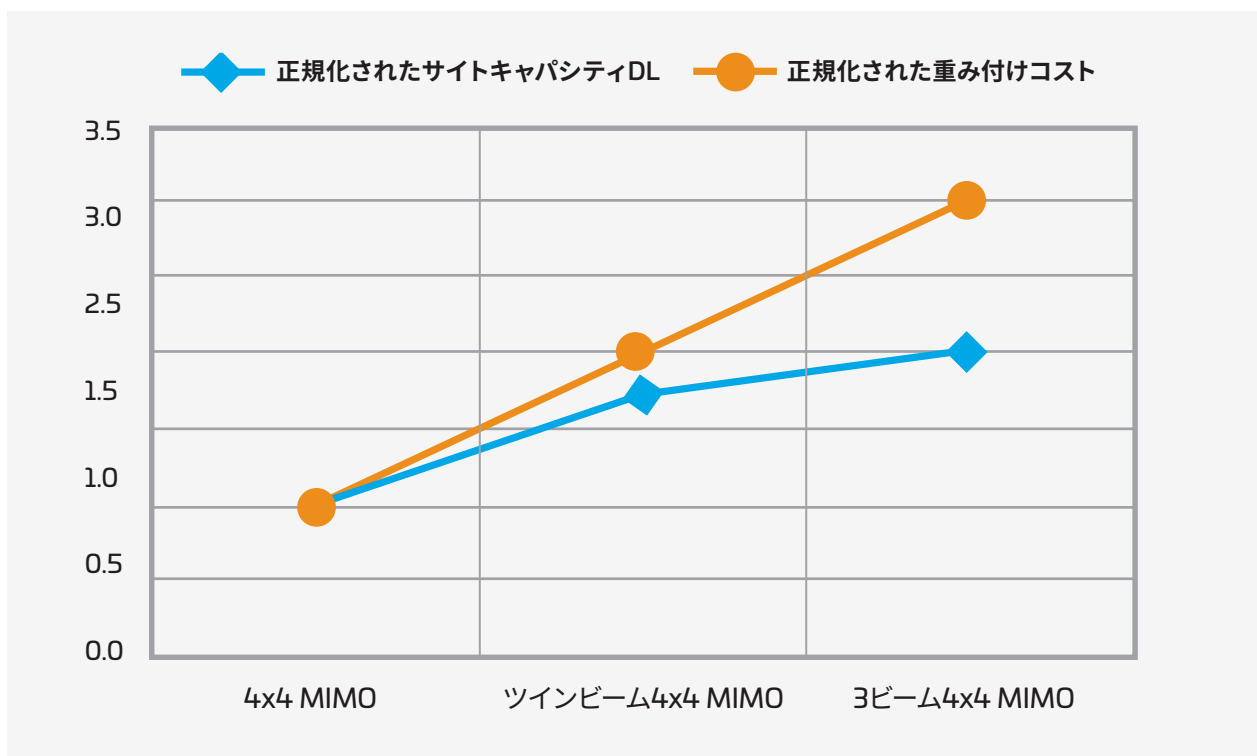
- OEMによるMU-MIMOを備えた8T8Rに対するサポートは、コスト対パフォーマンスの点で、最も効率的なソリューションとなると思われます。基地局ベンダーの中には、5Gでの8T8R無線機器について既にMU-MIMOをサポートすると発表したものもあります。5GデバイスはMU-MIMOをサポートすると思われるので、このソリューションは5G展開を進める通信事業者にとって強力なビジネスケースとなり得ます。このオプションは、大多数のサイトではデフォルトのRF構成として使えます（9ページのネットワークシナリオ参照）。

- ツインビームのソリューションは、パッシブRFパスソリューションで最高のキャパシティをもたらしてくれます。従来の2x4T4Rツインビームソリューションは、シングル4T4R構成に比べてほとんど2倍のコストがかかりますが、4T4Rに比べてキャパシティは通常平均1.6~1.7倍です（トラフィック需要とビーム間の分散度による）。このソリューションのもう一つの利点は、TDDバンドとFDDバンド両方をサポートすることです。これに対して8T8Rのビームフォーミングは一般的に4GではTDDバンドで使われます。この理由は、FDDバンドでは低コストの4Gデバイスではビームフォーミングをサポートしていないのに対して、TDDのビームフォーミングは多くのレガシー4Gデバイスでサポートされているからです。多くの5Gデバイスは、TDDバンドとFDDバンドの両方でビームフォーミングをサポートするようになると思われます。

- 3ビーム、5ビーム、9ビームといったマルチビームソリューションは、通信事業者によって特定のサイトと、スタジアムやフェスティバルなどの大規模会場用の特定のソリューションとして展開されてきました。これは大規模には展開されておらず、その理由はMIMO戦略に応じて各ビームに少なくとも2T2Rまたは4T4Rの無線機器が必要、つまり3ビームソリューションには少なくとも3台の無線機器が、5ビームのアンテナには5台の無線機器が必要なためです。ビーム数が増えるとビーム間の干渉が増え、そのためキャパシティに関して達成できる利点は、投資に対して割の合うものではありません。

- 32T32Rや64T64RなどのマッシュMIMOソリューションはキャパシティに関する利点は最大ですが、コストも高くな

ります。これらのソリューションに投資をする前に、複数ストリームに対するサポート、MU-MIMO、3次元ビームフォーミングなどの機能がもたらすキャパシティに関する利点を評価することが重要です。これらの機能は、高層ビルが立ち並ぶ都市部など、垂直面で密なトラフィックが分布する負荷の大きいセルで最大の利点を発揮します。ネットワークの中には、多額の投資を正当化できる場所もあります。しかし、このソリューションでは、通信事業者は十分な見返りのない投資をしてしまう恐れがあります。トラフィック需要が多くない環境、ビームを垂直方向に動かす必要の無い環境などがそれに当てはまります。



水平カバレッジの比較

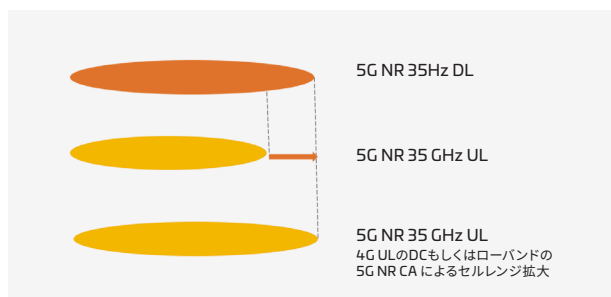
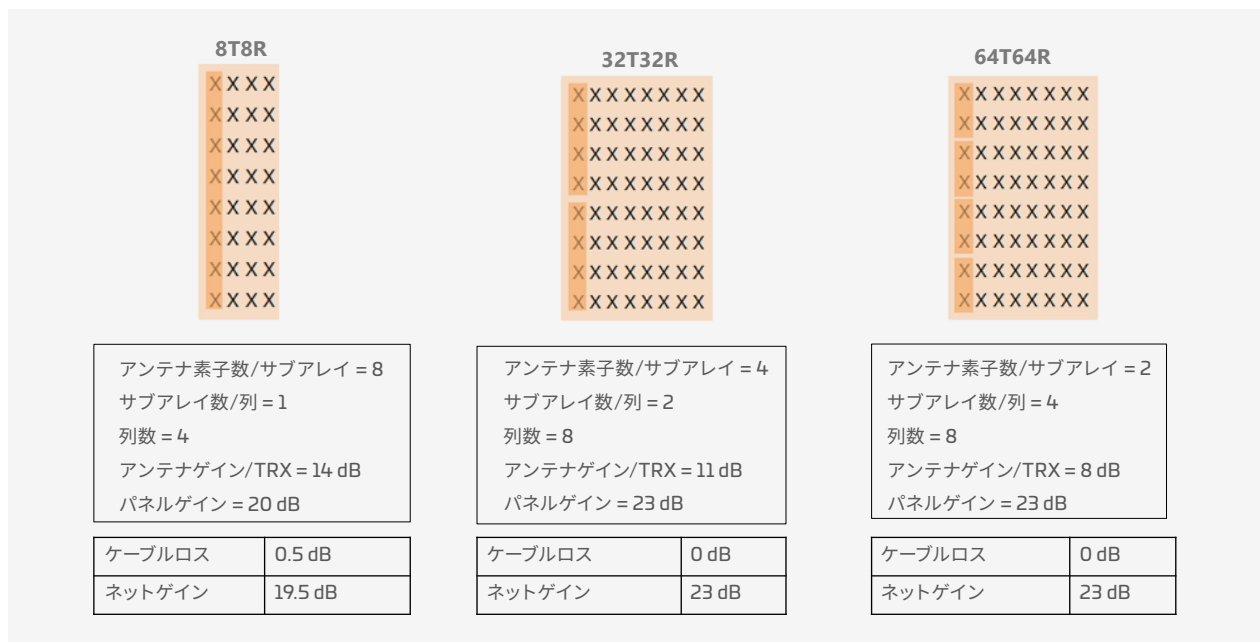
水平カバレッジは、ソリューションの等価等方放射電力 (EIRP) によって異なります。EIRPは無線機器からの電力、無線機器とアンテナ間のRFパスでの全ゲインとロス、それにアンテナのゲインの総和です。各構成間で無線機器からの電力が等しいと仮定すれば、RFパスでのゲインとロスと、アンテナパネルのゲインのみを比較すれば良いこととなります。

マッシブMIMO構成では、アクティブアンテナとDUの間は光ファイバーのデジタル接続のみで、一般的にRFパスでのロスはありません。8T8Rソリューションでは、RFパスでのロスは、無線機器とアンテナポートの間の同軸ジャンパーケーブルの長さを縮めるか、無線機器とアンテナポートの間にブラインドメートコネクタなどのテクノロジーを用いることで少なく抑えられます。

下の図では、8T8Rアンテナには64個の半波長ダイポール（または32個のデュアル偏波アンテナ素子）があり、32T32Rと64T64Rには128個のダイポール（または64個のデュアル偏波アンテナ素子）があります。アンテナ理論によれば、ひとつの半波長ダイポールのゲインは0dB (2.14dBi) で、デュアル偏波ダイポールのゲインは3dB (5.14dBi) です。

32個のデュアル偏波アンテナ素子を持つ8T8Rアンテナのゲインは $5.14 + 3 \cdot \log_2(32) = 20.15\text{dB}$ となります。この式の第2項は、ダイポールの数を倍にするごとにゲインを3dB増やすことにご注意ください。64個のデュアル偏波アンテナ素子を持つ32T32Rパネルまたは64T64Rパネルのゲインは、8T8Rよりも3dB多くなります。これはこの2つの構成ではダイポールの数が8T8Rの倍で、従ってゲインが23.15dBとなるからです（比較を簡単にするため、ダイポールの間隔やその他のアンテナ内部のロスは無視しています）。

この例でケーブルでのロスを含めると、8T8RソリューションとマッシブMIMOソリューションの間のDLカバレッジの違いをdBで表すと3~3.5dBとなります。これはマッシブMIMOソリューションの方が、8T8Rよりも水平レンジがおよそ20%大きいことに相当します。8T8Rソリューションの無線電力を増加すると、DLに対するこの違いを埋めることができます。それでも、マッシブMIMOソリューションははるかに多くのTRXと、DLとULでのより多くのストリームをサポートすることで、キャパシティに関して利点があります。しかし、キャパシティに関するこの利点は、前述のように、それに適したサイトでのみ適切に活用できます。



5G NRでのULのカバレッジは、デュアルコネクティブリティまたはキャリアアグリゲーションを用いて、ローバンドでLTEや5G NRを活用することで維持できます。

8T8Rビームフォーミングアンテナと4T4R MIMOアンテナのカバレッジ比較

4T4R MIMOアンテナは一般的にひとつのアンテナパターンを持ち、その公称水平ビーム幅は65度、公称ゲインはミドルバンドで18dBiです。このパターンは、4Gまたは5G RANのトラフィックチャンネルとコントロールチャンネルの両方で使われます。この図は一般的な65度のアンテナの水平パターンを示します。

トラフィックチャンネルはユーザーデータの伝送に使われ、制御信号のみを送るコントロールチャンネルよりもはるかに大きいスループット要件があります。このため一般的なネットワークでは、トラフィックチャンネルのカバレッジはコントロールチャンネルのものよりもずっと小さくなります。多くの場合、使用可能なカバレッジはトラフィックチャンネルのカバレッジで決まります。

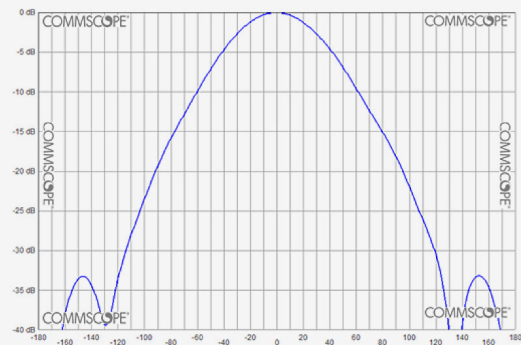
8T8Rビームフォーマーは、基地局がアンテナポートに供給する重みづけに応じて、複数のアンテナパターンを持つことができます。基地局は8T8Rビームフォーマーを用いて約22度の水平ビーム幅のパターンを作り、サービスビームと呼ばれるユーザーペイロードを送信できます。サービスビームのゲインは、65度のアンテナに比べて通常3〜3.5dB高くなります。例えば、サービスビームのゲインは約21.5dBとなります。このことは、8T8Rは4T4Rアンテナに比べて、トラフィックチャンネルのカバレッジを3.5dB上げることになります。4T4R固定ビームパターンに比べて、8T8Rアンテナのエンベロップカバレッジパターンは通常セクター上で1〜10dBのゲイン向上があり、ボア側ではこの改善が少なめ、セクター一端では改善が多めになります。

4G用に2300MHzのTDD用に設計されたサイト間隔の既存ネットワークに3500MHzバンドでの5G NRネットワークを展開する場合を例に考えます。この場合、基盤となる4Gネットワークに比べて少なくとも3.65dBのカバレッジの違いがあります。これはこの2つのバンド間での自由空間パスロスの差に基づいています。

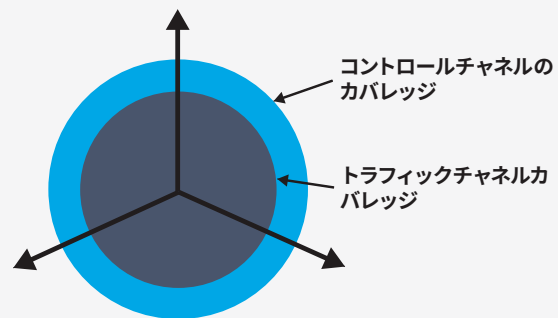
自由空間でのパスロスの差 = $20\log(3500) - 20\log(2300)$
= 3.65dB

また、ビル内では、2つのバンド間のビル内への浸透の差に基づいて、さらにカバレッジの差が生じ得ます。

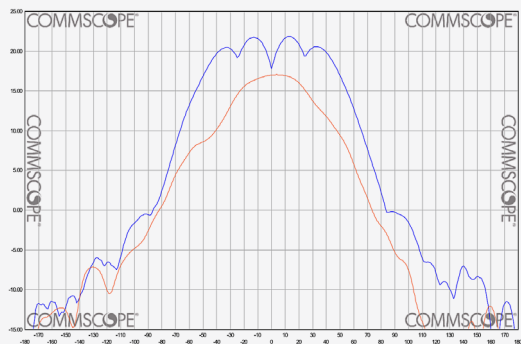
2300MHzで4T4Rを用いる4Gネットワークを持つサイトを基盤として8T8Rを使って、3500MHzバンドでの5G NRネットワークを展開する場合、2つのバンド間の屋外カバレッジの差3.65dBは、8T8Rアンテナのサービスビームによる高いゲインでほぼ補償されます。このため、3.5GHzでの5G NRのためのビームフォーミング8T8Rソリューションの方が、4Gのより低いバンドよりも高い伝搬ロスを補償するようなカバレッジ上の利点があるために、優位であることがわかります。



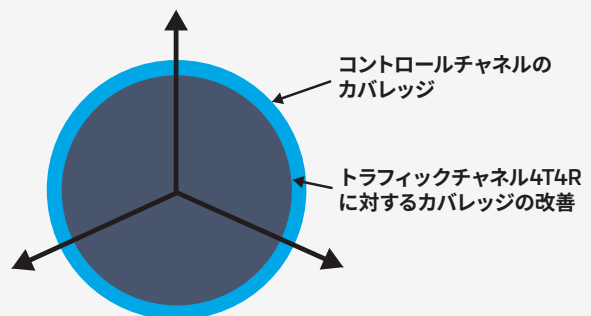
4T4R MIMOアンテナの一般的な65° HPBWパターン



65° HPBWアンテナを用いた一般的な3セクターサイトの概念的カバレッジ



65°パターン (赤) 対8T8Rアンテナのサービスビームエンベロップパターン (青) (例として、サービスビームは±10°と±30°に4つのビーム方向があるものを図示)

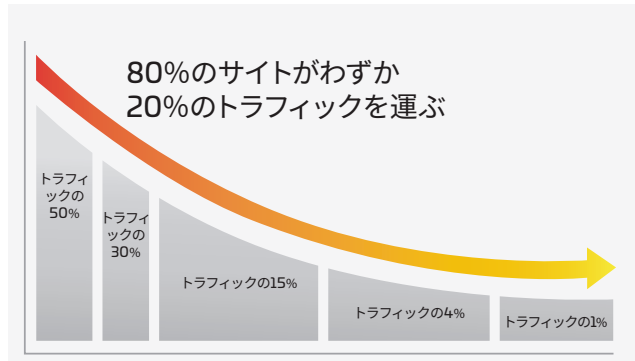


8T8Rアンテナを用いた3セクターサイトのカバレッジの概念図。4T4Rアンテナに比べてトラフィックチャンネルカバレッジが改善されている。

ネットワークシナリオに基づいたコスト/パフォーマンスの分析

一般的なネットワークでは、ピーク時間帯にトラフィックの大部分を運ぶのはわずか20~30%のサイトです。右の図では商用モバイルネットワークでの、サイト間の一般的なトラフィック分布を示します。

そのため、高容量のソリューションはこれら20~30%の高負荷サイトのみが必要です。前述の通り、高コスト構成のビジネスケースは、これがあまり使われていないサイトに展開された場合に急速に弱くなります。これは通信事業者が長期、おそらく何年にもわたって投資の見返りが見込めないからです。より現実的なアプローチとしては、トラフィックの負荷をソリューションのタイプに合わせて、投資に十分な見返りを生まないアセットに資金を縛られることなく、十分な容量を提供することです。



出典：Next Generation Mobile Networks

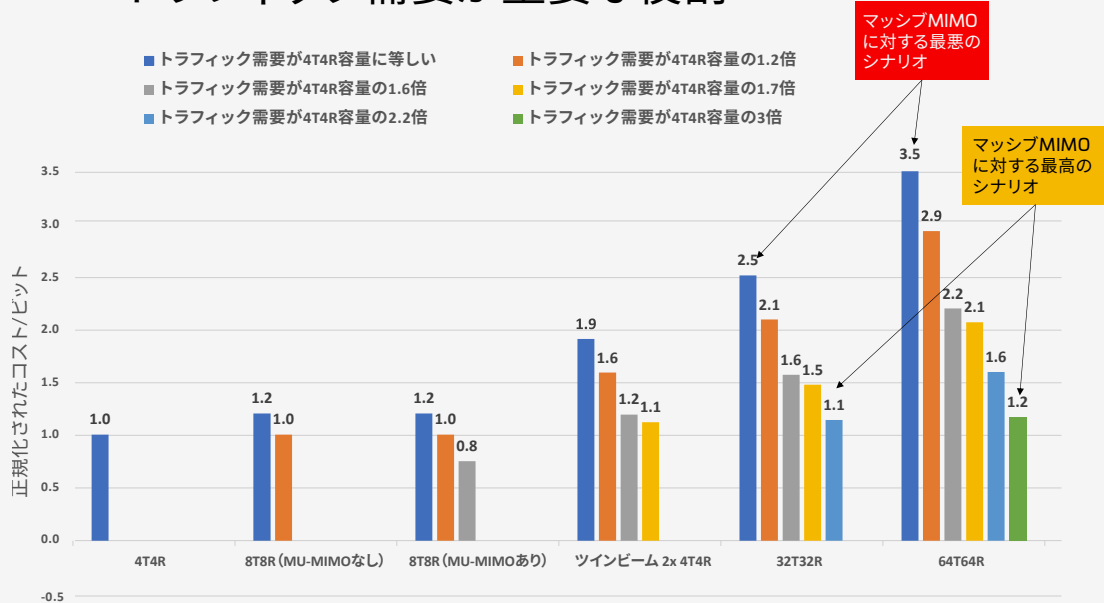
トラフィック需要とコストの比較

下の図には、各ソリューションに対して、正規化されたビット当たりのコストに対するサイトトラフィック需要の影響を示します。全ソリューションに対するビット当たりのコストは、4T4Rのビット当たりのコストで正規化されており、ここで4T4Rはフルキャパシティで運用されています。

例えば、64T64Rソリューションのビット当たりのコストは、64T64Rを使うサイトが4T4Rソリューションに対するのと等価なトラフィックの需要があるとすれば、4T4Rソリューションの3.5倍ものビット当たりのコストがあります。

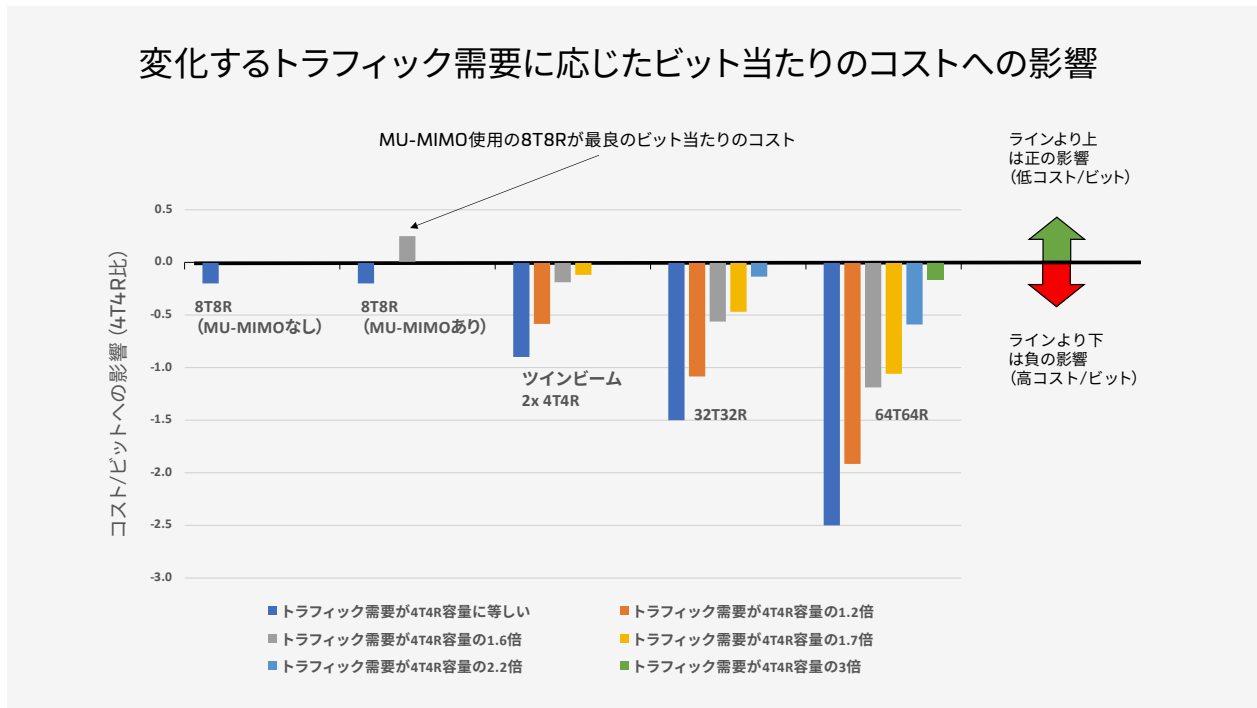
一方、64T64Rソリューションのビット当たりのコストは、64T64Rソリューションと4T4Rソリューションが、あるサイトでそれぞれ最適な容量で運用されている場合には、4T4Rソリューションのビット当たりのコストとほとんど同じになります。そのため、サイトでのトラフィック需要を評価すること、サイトでのトラフィック需要のライフサイクルを評価することは、サイトのソリューションを選択するに当たっての意思決定プロセスで重要な役割を果たします。

トラフィック需要が重要な役割



下のチャートには、構成のビット当たりのコストに対する、トラフィック需要の影響を別の方法で示しています。4T4Rの正規化されたビット当たりのコストのラインの下にバーの値があると負の影響を表し、バーの値がラインの上にある

と正の影響（ビット当たりのコストが低い）を表します。このチャートは、MU-MIMOを使う8T8Rが、他のソリューションに対して最も良いビット当たりのコストが得られることを示しています。



考慮すべき今ひとつの要因は、各無線機器構成での消費電力です。下の表は、各ソリューションの平均消費電力を、4T4Rに正規化して示したものです。

	4T4R	8T8R	8T8R MU MIMO	(ツインビーム) 2x4T4R	32T32R	64T64R
正規化された消費電力	1	1.5	1.5	2	2.5	3

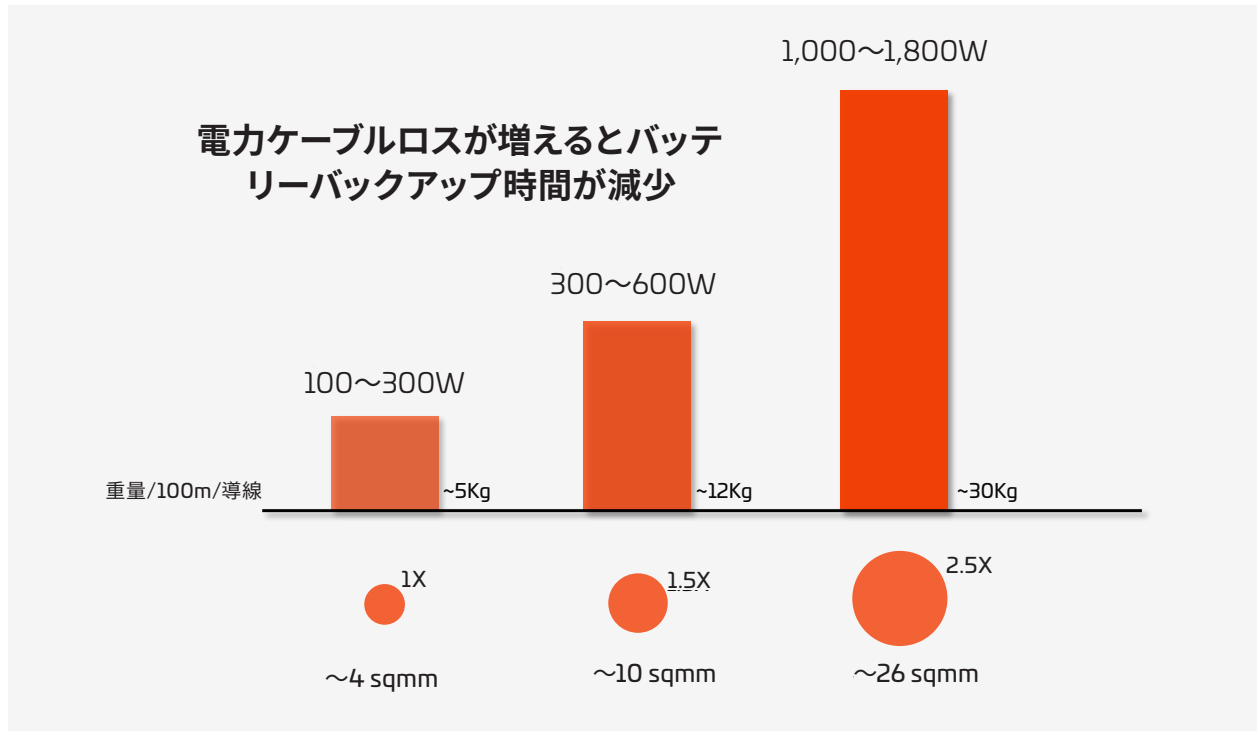
基地局ベンダーは、マッシブMIMO機器の消費電力を削減しようと努力しています。またこうした無線機器の消費電力をトラフィック需要が低いときに最適化する機能も開発中です。しかし、電力のコストは、あるトラフィックに対処するために必要なものよりはるかに上のソリューションで運用しているサイトでは、十分な収益を上げることなく大きなもの

になってしまいます。大規模なネットワーク内にこのような最適ではないサイトが複数含まれていると、5Gネットワークのビジネスケースへの全体的な影響は非常に大きなものになってしまいます。多くの5G事業者はすでに、トラフィックの少ない、使用程度の低い送信機の電源を切断して、不必要なコストを削減することを検討しています。

さらに、マッシブMIMOサイトでの最大消費電力に対応するインフラも大きな要因です。下のチャートには、電力ケーブルの重量とサイズの影響を示します。

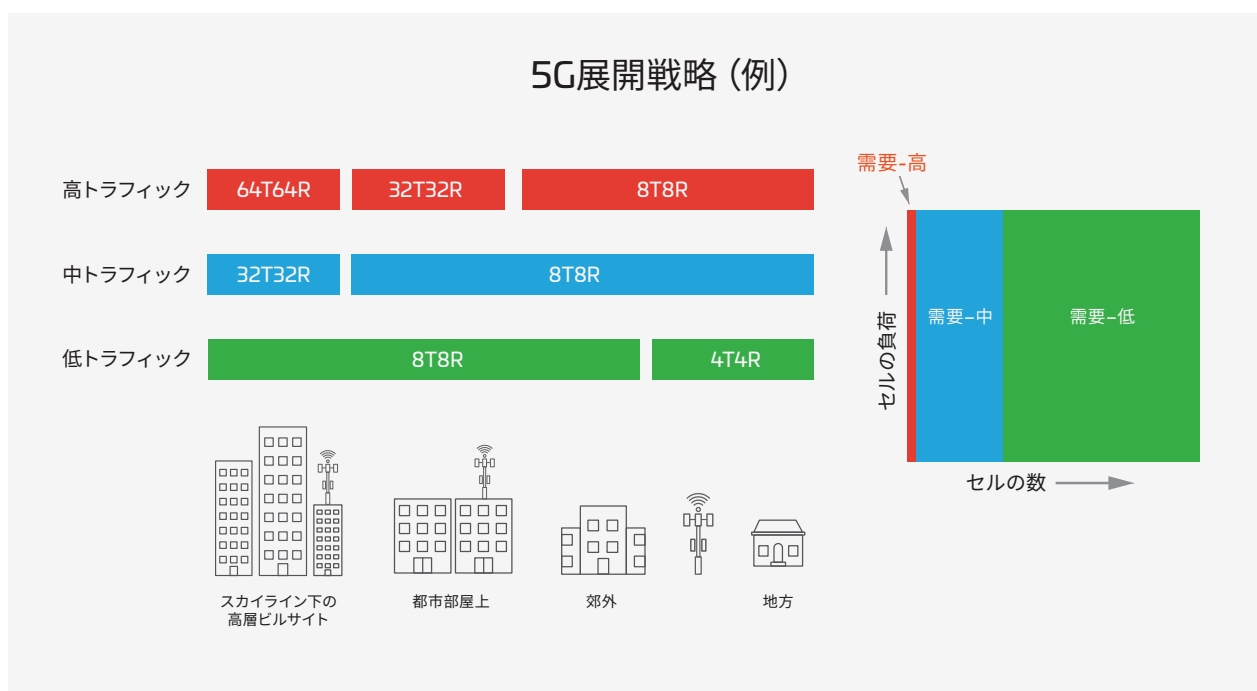
例えば、消費電力が300Wから1200Wに増加すると、重量が6倍、電力ケーブルのサイズは2.5倍に増加します。

このことは、多くのサイトでは電力ケーブルの増設のために大きな設備投資を要することを意味します。加えて、増設された電力ケーブルの重量のために、タワーとポールへの荷重も増加します。



トラフィック需要と環境も考慮して、下の図には推奨する5Gの展開戦略の概略を示しています。高層ビルなどを含む高キャパシティサイトには、マッシブMIMOの使用に最大の

メリットがあります。その他多くのネットワークシナリオでは、8T8Rが良い選択肢であり、4T4Rは地方や都市の隙間サイトに考慮すると良い



まとめ

5G普及のスピードは4G初期の普及スピードよりもすではるかに速くなっています。5G Americasによれば、5Gの加入者は2021年の終わりにはすでに5億4千万人に達しました。4Gではこの数に達するのに3倍もの時間がかかっています。この急速な成長は継続すると見られ、2026年には世界のデータトラフィックに関して4Gを凌ぐと予測されています。

5Gのこの成長はめざましいものですが、投資を十分に回収できるように5Gネットワークを最適に設計するには課題もあります。Sub 6での5Gに対して使えるRFパス構成の選択肢は、主として4Gネットワークに使われている2T2Rと4T4Rだけという状況から増加しました。このホワイトペーパーでは、8T8Rを5GネットワークのRF設計の構成要素に使い、適切なサイトには他のソリューションも使うという現実的なネットワーク設計戦略を提示しています。

CommScopeは人類に大きい達成をもたらすような、現状を打破するアイデアと画期的な発見で、通信技術の殻を破ります。お客様やパートナーとの協力により、世界最先端のネットワークを設計、創出、構築しています。次のチャンスを見出し、よりよい未来を実現することに情熱を傾けています。commscope.comでもっと詳しくご覧ください。

COMMSCOPE®

commscope.com

詳細については、ウェブサイトをご覧ください。お近くのCommScope代理店までお問い合わせください。

© 2022 CommScope, Inc. All rights reserved.

特に注記がない限り、®または™のついたすべての商標は、CommScope, Inc.の登録商標または商標です。本書は計画立案の参考としてのみ提供されており、CommScope製品やサービスの仕様や保証を変更または補充するものではありません。CommScopeは、最高水準の誠実な事業活動と環境の持続可能性に真摯に取り組んでおり、世界中のCommScopeの多くの施設がISO 9001、TL 9000、ISO 14001などの国際標準に準拠した認定を受けています。CommScopeのコミットメントに関する詳細は、www.commscope.com/corporate-responsibility-and-sustainabilityをご覧ください。

WP-116244-JA (2/22)