

# 5G 端末間リレー通信における信号量削減手段に関する検討

北川幸一郎<sup>1,a)</sup> 堅岡良知<sup>1,b)</sup> 趙兵選<sup>1,c)</sup> 山口明<sup>1,d)</sup> 新保宏之<sup>1,e)</sup>

第五世代移動通信システム (5G) における小セルのトラフィック収容効果を向上するために、小セル端末を経由し、小セルエリア外の端末を基地局へ接続する端末間リレー通信が方法のひとつとして検討されている。混雑環境で大容量な端末間リレー通信を実現するためには、大セル局による信号制御の下、端末間の無線品質を収集する必要がある。このとき、制御対象の端末数が多い場合、大セル局からの制御信号により通信リソースが逼迫し、大セル局に接続中の他の端末における通信性能が劣化するという課題がある。本稿では、考案した基地局による制御信号量を削減する手法を、複数の端末間リレー通信が同時に実施される環境で評価し、大セル局の通信性能に対する影響を低減しつつ、トラフィック収容効果を高める適用方法について検討した結果を報告する。

## 1. はじめに

スマートフォンやタブレットなどの高性能通信端末の普及によるトラフィック急増に対応するため、標準化団体 3GPP において第 5 世代移動通信システム (5G) 仕様の検討が行われている<sup>(1,2)</sup>。5G の初期展開シナリオとして、既存の Long-Term Evolution (LTE) ネットワークの大セル局からの制御の下、大容量通信が可能な 5G 対応小セル局を連携利用する、Non-Standalone (NSA) 構成<sup>3)</sup> が想定されている

(図 1)。NSA では、小セル局を都市部等で混雑が事前に予測されるエリアに対してスポット的に設置する。しかし、混雑エリアは時間帯や突発的なイベントの開催等により大きく変動するため<sup>(4,5)</sup>、小セル局が十分にトラフィックを収容できない場合がある。

前述のような場合に小セル局へトラフィックを収容する技術のひとつとして、端末間リレー通信が検討されている<sup>(6,7)</sup>。端末間リレー通信では、大セル局の制御の下、小セルエリアの端末を経由してリレー接続することで、小セルエリア外の端末のトラフィックを、小セル局で収容する(図 1)。端末間リレー通信による小セル局へのトラフィック収容効果を高めるには、端末間通信の無線品質情報を考慮し、高品質な端末間リレー通信リンクを選択する必要がある。

端末間通信の無線品質情報を考慮した端末間リレー通信リンクの選択方法として、アドホックネットワーク技術を用いた研究が知られている<sup>(8,9)</sup>。しかし、5G で想定するスタジアムのような混雑環境では、アドホックネットワーク技術における自律分散的な報知信号の衝突確率が高くなり、効率的な無線品質情報の交換が困難になる<sup>(10)</sup>。この問題は、無線品質情報を含む信号を送信する無線リソースを、大セル局が端末個別に制御することで回避できる。しかし、大セル局による無線品質情報収集のための無線リソース制御信号(以降、無線品質収集用信号と呼ぶ)の送信は、大セル局における他の通信と通信リソースを共用する。このため、制御対象となる端末数によっては、大セル局における

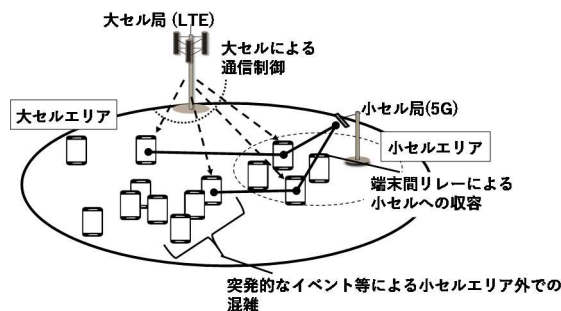


図 1. 端末間リレー通信による小セル局への中継接続

通信リソースの大半を無線品質収集用信号が占有し、大セル局の通信性能を劣化させる可能性がある。

これまでに、筆者らは大セル局の通信性能劣化を低減するため、無線品質収集用信号の通知先を通信端末の近接エリアに存在する端末に限定することで、信号量を削減する手法を考案し、初期評価として端末間リレー通信を 1 リンクのみ設定した場合を検討した<sup>(11)</sup>。しかし、実環境への適用を考慮すると、複数の端末間リレー通信が同時に行われることを想定し、大セル局の通信性能劣化を評価する必要がある。また、考案法は無線品質収集用信号の通知先を通信端末の近接エリアに限定するため、その範囲によっては高品質な端末間リレー通信を除外してしまい、トラフィック収容効果が十分に得られない可能性がある。これらを考慮した上で、考案法の適用方法を明確化する必要がある。

本稿は、2 節で従来法と考案法を説明し、考案法で複数の端末間リレー通信を考慮した場合の課題について説明する。3 節で計算機シミュレーションにより、大セル局の通信性能と、トラフィック収容効果とを評価し、考案法の適用方法を考察する。最後に、4 節で結論を述べる。

1 株式会社 KDDI 総合研究所  
2-1-15, Ohara, Fujimino-shi, Saitama, 356-8502, Japan.  
a) ko-kitagawa@kddi-research.jp  
b) ry-kataoka@kddi-research.jp

c) bi-zhao@kddi-research.jp  
d) yama@kddi-research.jp  
e) shinbo@kddi-research.jp

## 2. 端末間リレー通信制御手法

### 2.1 従来法：ネットワーク集約型制御

従来法として、通信端末がネットワーク装置に対してセッション確立を依頼する 5G 制御信号フロー (Session establishment)<sup>12)</sup> を、端末間リレー通信へ対応させた制御手法を図2に示し、今後、「ネットワーク集約型制御」と呼称する。紙面の都合上、図2中で、無線品質収集用信号に関する部分のみを説明する。その他処理については文献 11, 12を参照されたい。なお、端末から大セル局への通信を「上り」、大セル局から端末への通信を「下り」と呼ぶ。通信端末と大セル局の通信路を確立する Session establishment 処理は、大セル局と端末との間のシグナリングにより設定される。端末間通信品質は、Radio Resource Control Reconfiguration (RRC Reconf.) 信号と、Device-to-device Measurement Report (D2D MR) を利用して、ネットワーク装置に収集される。ここで、RRC Reconf. 信号は、リレー端末候補に対して、無線品質を測定する通信端末を指定する下り信号であり、D2D MR は、指定された通信端末とリレー端末候補との間の端末間通信品質の測定結果を大セル局に報告する上り信号である。RRC Reconf. 信号と D2D MR は、共にデータ送信を行う無線リソース領域である Shared channel (SCH) 領域で、端末単位に送信される<sup>13)</sup>。また、RRC Reconf. 信号は、リレー端末の候補を限定しないことから、RRC Reconf. 信号は大セルエリア内の全ての端末に下りリンクで通知され、D2D MR は RRC Reconf. を受信した全ての端末から上りリンクで返答される。このため、これらの信号送信を行う端末数の増加により、大セル局に接続する通信端末における上り、下りの双方のリンクの通信性能に影響を与える。

### 2.2 考案法：PF ベース通信制御

D2D MR は、RRC Reconf. 信号内の設定情報に基づく報告信号であるため、RRC Reconf. 信号を設定しない端末から送信されることはない<sup>11)</sup>。よって、RRC Reconf. 信号を削減する手法を検討することで、D2D MR も自明に削減が可能である。筆者らが考案した、ProSe Function (PF) ベースの通信制御により、RRC Reconf. 信号量を削減する手法 (PF ベース通信制御) を説明する。

PF<sup>14)</sup> は、LTEにおいて規定された位置管理機能であり、周辺に存在する端末を検知しネットワークに報告する D2D discovery 機能や、位置情報を収集する SLP (SUPL Location Platform) を利用し、近隣端末情報を周期的に収集する。近隣端末情報は、例えば、ある端末と一定通信品質以上で通信可能な端末のリストなどで構成される。PF ベース通信制御では、PF で収集された近隣端末情報を用いることで、RRC Reconf. 信号を通知するリレー端末の候補を限定する。図3に実施フロー例を示す。大まかな実施フロー

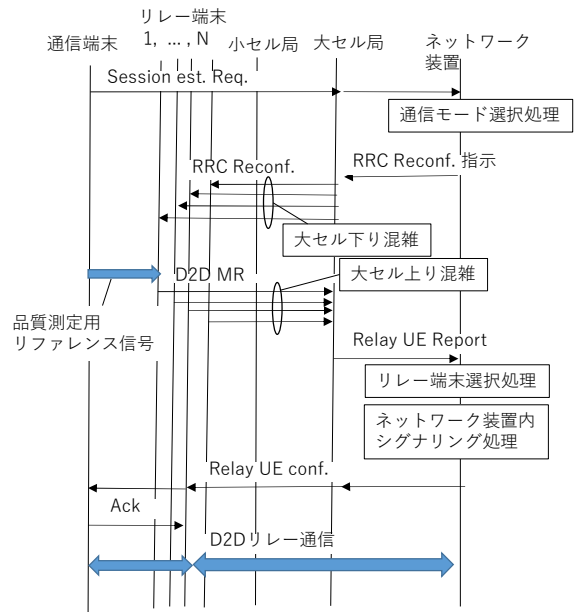


図2 ネットワーク集約型制御例

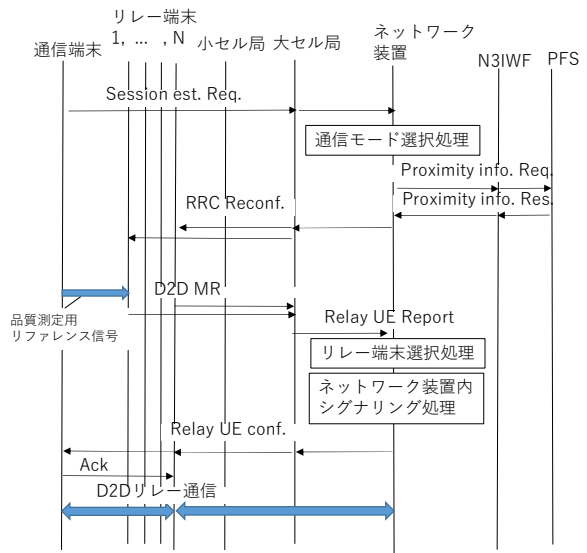


図3 PF ベース通信制御例

はネットワーク集約型制御と同様であるが、PF ベース通信制御では、PF 用に新たに規定するデータベースサーバである ProSe Function Server (PFS) からネットワーク装置への端末位置情報の通知 (Proximity Information Request/Response) が存在する点が異なる<sup>11)</sup>。

PFS は、近隣端末情報を長周期に収集、蓄積するサーバである。PF ベース通信制御では、通信端末と通信可能な通信品質を保持している端末の存在が期待できるエリアを、近接判定エリアとして特定する (図4)。PFS からの情報により、近接判定エリアに存在し、かつ小セル局に接続している端末のみを通信品質測定対象とすることで、RRC Reconf. 信号の通知先となる端末を、小セル局へ中継可能となる見込みが高いものだけに限定する。PF ベース通信制

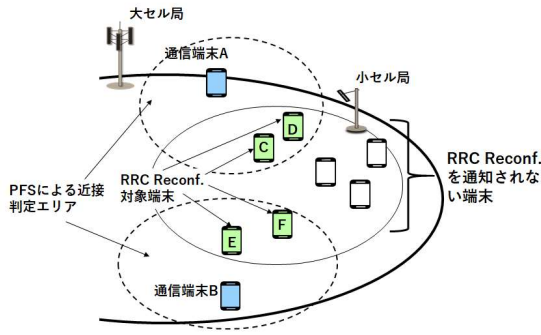


図4 近接判定による RRC Reconf.送信端末の限定

御では、大セルエリア内の端末分布により通信端末の近傍に存在する端末数が異なるため、RRC Reconf. 信号の削減量が変化する。

端末間リレー通信を行う通信端末が複数存在した場合における PF ベース通信制御の RRC Reconf. 信号削減効果について説明する。図4において、破線は PFS による近接判定エリアの判定結果であり、この中の端末へ RRC Reconf. 信号が送信される。通信端末が A のみであった場合、RRC Reconf. 信号の通知対象端末は C, D のみとなり、その他の端末は制御対象外となる。しかし、端末間リレー通信を行う通信端末が A, B の2 端末であった場合、端末 E, F も同時に RRC Reconf. 信号を送信する必要がある。また、PF ベース通信制御では、RRC Reconf. 信号の通知対象を小セル局に接続中の端末に限定する。これらから、PF ベース通信制御における RRC Reconf. 信号数は、端末間リレー通信を行う通信端末の増加に伴い増大し、小セル単位でそれに接続する端末数に近づくことになる。

### 2.3 PF ベース通信制御の適用に向けた課題

前述したように、PF ベース通信制御では端末間リレー通信を行う通信端末数により、近接判定エリアの特定による RRC Reconf. 信号削減効果が減少する。このため、まず、端末間リレー通信を行う通信端末が複数存在する環境下で、考案法の有効性を確認する必要がある。

考案法における近接判定エリアを縮小することで、端末間リレー通信あたりの RRC Reconf. 対象端末を更に削減す

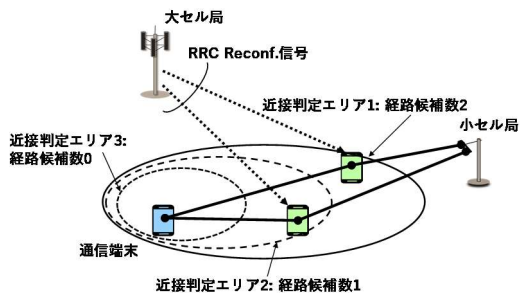


図5 近接判定エリアの設定

ることが可能である (図5)。しかし、図5に示す通り、近接判定エリアを縮小した場合、端末間リレー通信の候補経路数が連動して減少し、高品質な端末間リレー通信の発見可能性が減少し、小セルへの大容量通信トラフィックの収容が困難となる可能性がある。

端末間リレー通信によるトラフィック収容効果に関する従来検討<sup>6,7)</sup>は、無線品質収集用信号によるスループット劣化の影響を考慮していない。このため、近接判定エリア設定による RRC Reconf. 信号の削減効果と、小セル局へのトラフィック収容効果を確認した上で、近接エリアの設定指針を明確化する必要がある。

表1 評価パラメータ

		大セル	小セル
セル配置		7 大セル局正則配置, 大セル局間距離 250m, 2 小セル局/大セルエリア	
キャリア周波数 [GHz]		2.0	30.0
下り RB 数		50	200
パスロス, シャドウイング	セルラー	3GPP UMi <sup>(15)</sup>	
	D2D	WINNER II+ <sup>(16)</sup>	
瞬時フェージング		Rayleigh flat fading	
端末数 [cell]		50-400	
端末送信電力 [dBm]		23	
基地局送信電力 [dBm]		46	42
ネットワーク間信号遅延 [ms]		1.0	
無線制御信号の消費 RB 数 (RRC Reconfig.)		1	
処理手続き遅延 [ms]		1.0	
ネットワーク装置内シグナリング処理遅延 [ms]		2.0	
アンテナパターン		Omni/Omni	
トラフィックモデル		Full buffer	
D2D 通信リソース		30GHz 帯, 100RB	
無線スケジューリング		4RB/ms, round robin	
距離制約変数 $d$ [m]		10, 25, 50, 75, 100	
端末間リレー通信数 [大セル]		1, 2, ..., 10	

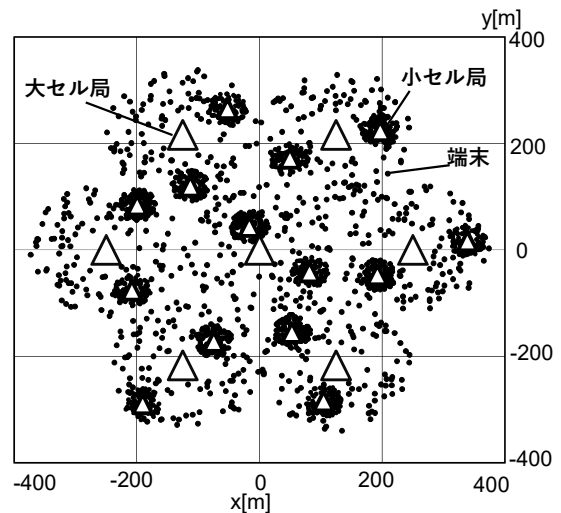


図6 端末、基地局配置例 (端末数 100/セルの場合)



### 3. 性能評価

#### 3.1 評価方法

評価は計算機シミュレーションにより行った。表1にシミュレーション諸元を示す。今回の評価では、様々な小セルと通信端末との間の接続状況を加味し、平均的なスループット指標を評価するためにマルチセル環境を考慮する。大セル局7個によるセル正則配置を想定し、各大セル局から半径125m以内にそれぞれ2個の小セル局をランダムに配置する(図6)。端末分布については、大セル局1個と小セル局2個に同数の端末を、端末数100から1200までランダムに配置する。例えば、大セル局に100端末ある場合は、各々の小セル局に100端末配置され(合計200端末)、大セル局は7個あることからシミュレーション全体としては2100端末が配置されることになる。この端末分布は、3GPPにおける混雑エリア評価モデルである *dense urban* シナリオにおいて、大セルエリアの端末数と、小セルエリアの端末数の比率を1:2と想定していることに従ったものである。また、大セル局に接続中の端末はすべてトラフィックを持つことを想定する。一方で、小セル局に接続中の端末については、2個の小セル局のうち一方に接続する端末はすべてトラフィックを持つこととし、もう一方に接続する端末は50%の端末のみトラフィックを持つこととする。

端末間リレー通信によるトラフィック収容効果をスループット観点で把握可能とするため、1端末あたり1スケジューリングタイミングあたりの割り当て資源 (*Resource block: RB*) 数は、無線リソースの空き状況に関わらず固定とした。ここでRBは、3GPPにおいて規定されているデータ割り当てを行う無線周波数リソースの単位であり、1RBは、180kHz帯域幅、1ms期間の時間周波数リソース領域として定義される。その他パラメータで表1に記載のないものは、3GPP Case 1モデル<sup>17)</sup>に従って設定する。

通信経路設定の制御フローについては、図2, 3に示すものを、表1に記載のパラメータに基づき考慮する。無線制御信号については、送信誤りを簡単のため考慮せず、無線制御信号により占有されるRB数のオーバーヘッドのみを考慮することとした。RRC Reconf. 信号は、下りリソーススケジューリングに対して信号発生時に優先的に割り込み割当が実施されることとした。また、RRC Reconf. 信号を通知する端末の決定方法は次のとおりである。

- ネットワーク集約型制御では、大セルエリア内のすべての端末をRRC Reconf. の通知対象とした。
- PFベース通信制御では、簡易的な近接端末の特定方法として、端末間通信リンクにおいて十分な通信品質が確保可能となる通信距離として、通信端末から距離制約変数  $d$  [m]以内の端末が近接判定エリア内と判定されるものとした。PFベース通信制御では、この距離制約変数  $d$  [m]により近接判定エリアを調整する。

前述した大セル局、小セル局と端末の環境下において、大セルエリア内の端末が、小セル局に接続中の端末を經由した端末間リレー接続により、下りリンク通信を実施する。リレー端末の選択方法については、端末間リレー通信を行う大セルエリア内の端末を、小セルエリア内のトラフィックを持たない端末と良好な端末間通信品質を持ち、かつ大セルとの間の通信品質が劣悪なものから優先的に選択することとした。

上記で説明した評価方法では、無線伝搬については簡易的な模擬に留めているが、データ通信用の無線リソースの利用方法については3GPP標準仕様に即した模擬を行っている。このため、無線品質収集用信号によるスループットへの影響度については、実運用の場合に近い評価が可能であると考えられる。

#### 3.2 評価結果

##### 3.2.1 制御信号削減効果の評価

2.2節で述べた通り、PFベース通信制御のRRC Reconf. 信号削減効果は、端末分布に依存する。このため、複数の端末密度において、RRC Reconf. 信号削減効果と、大セル局における下りスループットの劣化量を評価した。

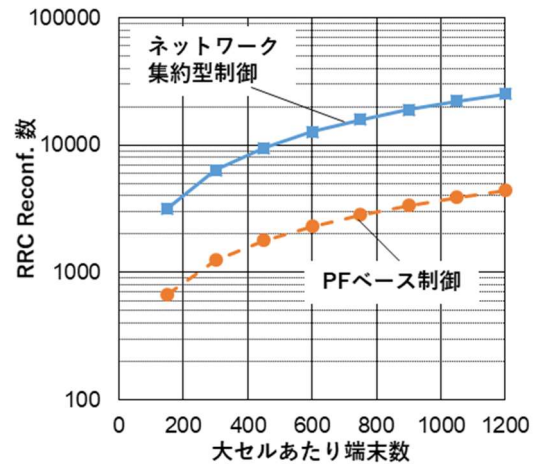


図7 RRC Reconf. 信号数

図7にRRC Reconf. 信号数を、従来のネットワーク集約型制御を適用した場合と比較して示す。ここで、大セルあたり端末数とは、大セルエリアに配置された端末数と、大セルエリア内に配置された2個の小セルエリアに配置された端末数の総数である。なお、各データ点は、異なる端末配置実現に基づく10サンプル以上の評価結果の平均値に基づき算出した。また、端末密度の増加による影響を確認するため、端末間リレー通信を行う通信端末数は大セルエリアあたり10に固定した。図7より、PFベース通信制御により、ネットワーク集約型制御を行う場合と比較して、約80%程度のRRC Reconf. 信号数を低減することが確認で

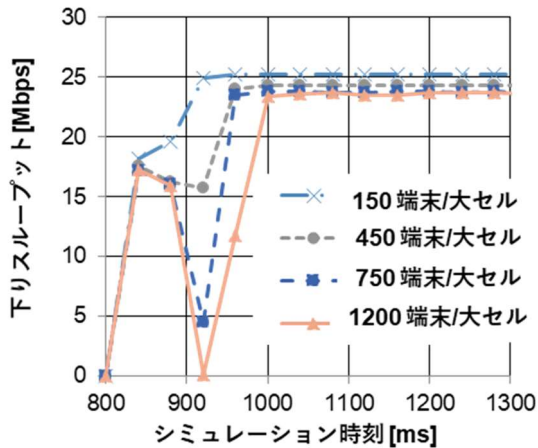


図8 大セル局における下りスループット (ネットワーク集約型制御)

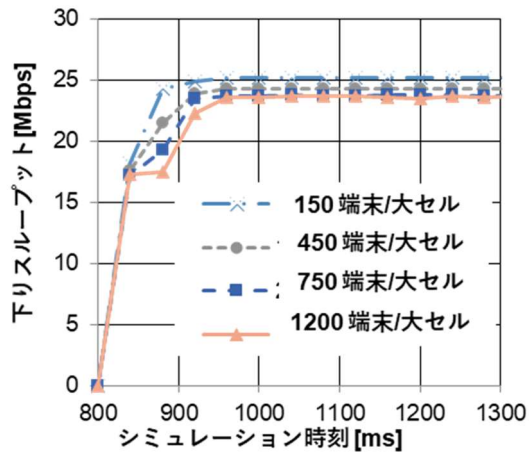


図9 大セル局における下りスループット (PF ベース通信制御の場合)

きた。また、ネットワーク集約型制御との間の削減比率は大セルあたり端末数によらずほぼ一定であることから、PF ベース通信制御による RRC Reconf. 信号数低減は、端末間リレー通信を行う通信端末が複数存在しても、大セルあたり端末数によらず有効であることが確認できた。

次に、PF ベース通信制御による RRC Reconf. 信号量削減効果を、大セル局における下りスループット観点から確認する。図8,9に、ネットワーク集約型制御を適用した場合と PF ベース通信制御を適用した場合の大セル局における下りスループットの時変動グラフを示す。図8,9では、PF ベース通信制御の RRC Reconf. 信号数削減効果により、ネットワーク集約型制御における一時的なスループット劣化が抑制されている。スループット劣化量が最も大きいシミュレーション時刻における劣化率を、大セルあたり端末数150の場合を基準値として表2に示す。PF ベース通信

表2 スループット劣化割合 [%]

大セルあたり 端末数	ネットワーク 集約型制御	PF ベース制御
300	14.0	5.4
450	36.9	11.3
600	59.4	15.9
750	82.1	20.6
900	96.8	23.2
1050	99.5	26.8
1200	99.8	28.0

制御は、大セルスループット劣化量が少ない大セルあたり端末数300の場合でも約9%のスループット劣化をネットワーク集約型制御からさらに低減し、大セル局におけるスループットを改善していた。さらに、混雑環境であり大きなスループット劣化が発生する大セルあたり端末数1200の場合には、最大で約72%と大きくスループット劣化を低減していた。このことから、PF ベース通信制御は、端末間リレー通信を行う通信端末を複数想定しても端末密度分布によらず、RRC Reconf. 信号による一時的なスループット劣化を安定的に低減することが確認できた。

### 3.2.2 端末間リレー通信の適用領域評価

PF ベース通信制御における近接判定エリア設定値  $d$  のトラフィック収容効果に対する影響を評価した。 $d$  を変化した場合の、大セル局と、大セルエリア内の小セル局との、端末間リレー通信分を含む下りスループット合計値であるセルエリアスループットの結果を図10に示す。RRC Reconf. 信号の削減効果を確認しやすい端末数として、表2においてネットワーク集約型制御の場合のスループット劣化が50%以上であった大セルあたり端末数600を設定した。図10より、 $d$  の設定によるセルエリアスループット向上効

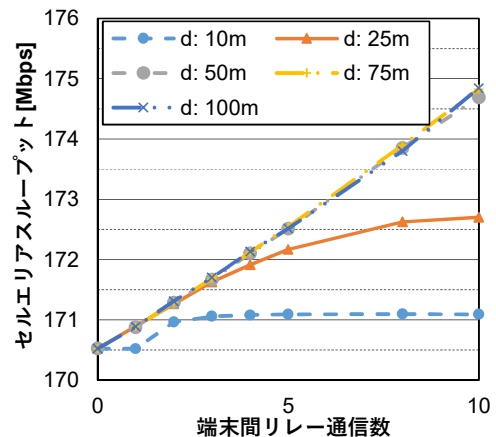


図10 セルエリアスループット

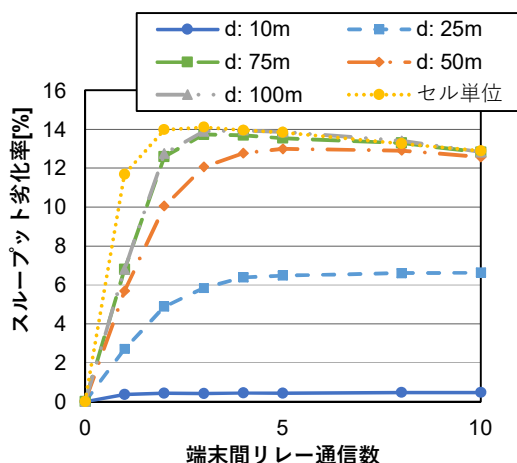


図 11 大セル局におけるスループット劣化率

果は、 $d=50$ [m] 以上の領域において変わらず、 $d$  が 25m 以下の場合においては、 $d$  が 50m 以上の場合と比較してスループット改善効果が減少していることが確認できた。これは、近接判定エリアを限定することにより、大容量なりレー通信経路候補が除外されていくことに起因するものと考えられる。これより、PF ベース通信制御によるトラフィック収容効果を最大化するためには、近接判定エリアを半径 50m 以上にする必要があることがわかった。なお、端末間リレー通信を設定することによるスループット向上効果が 1 端末間リレー通信あたり 500kbps 程度に留まっているのは、無線リソースの割当を 1 端末、1ms あたり 4RB 長に固定しているためであり、無線リソースの混雑度に応じて適応的に無線リソース割当量を変更することで、スループット向上効果は高まると考えられる。

次に、このようなスループット向上効果と、RRC Reconf. 信号による大セル局における下りスループット劣化との関係性を評価した。図 11 に、端末間通信を実施しない場合の大セル局における下りスループットからの RRC Reconf. 信号による劣化割合を、表 2 と同様に最もスループット劣化が大きいシミュレーション時刻で計算した結果を示す。ここで、セル単位とは、RRC Reconf. 信号の通知端末を、小セル内のトラフィックを持たない端末全てに設定した場合のスループット劣化率である。図 11 のセル単位のスループット劣化率は、2.2 節で述べた RRC Reconf. 信号の増加による影響を受けており、端末間リレー通信数の増加に伴い劣化し、小セル局に接続する端末が全て RRC Reconf. 信号を送信する場合に近づくことが確認できた。また、図 10 においてセルエリアスループットが最大化する  $d=50$  とした場合、大セルスループットの劣化を 6%未満に抑えつつ設定可能な端末間リレー通信数は最大で 1 となることが得られた。一方で、 $d=25$  とした場合、トラフィック収容効果は減少するが、端末間リレー通信を同時に 3 つまで設定可能となることを把握した。

これらの評価結果より、トラフィック収容効果を高める

ためには、 $d$  を可能な限り大きく設定する必要があるが、高い  $d$  を設定した場合には同時に設定可能な端末間リレー通信数に制約が発生することが確認できた。このため、端末間リレー通信設定を行う際には、同時に端末間リレー通信を設定する通信端末数を制御し、逐次的に端末間リレー通信を設定していくことで、大セルスループットの劣化を低減しつつ、トラフィック収容効果を高めることが可能と考えられる。このとき、逐次設定を行う通信端末の順序は、許容可能な接続遅延に基づき調整する必要がある。また、接続遅延の制約に応じて、同時に端末間リレー通信を設定する通信端末数の調整を、トラフィック収容効果や大セル局におけるスループット劣化率との間のトレードオフを加味しつつ行うことが適切である。

#### 4. まとめ

小セル局へのトラフィック収容効果向上を目的として端末間リレー通信の適用を検討し、端末間リレー通信設定時に課題となる、無線品質収集用信号による大セル局におけるスループット劣化を低減する手法を考案した。考案法は、端末の位置関係を管理する PF を活用することで、無線品質収集用信号の通知対象とする端末を、通信端末の近接エリアに存在するものに限定する。考案法による信号量削減効果と、小セル局へのトラフィック収容の向上効果を、複数端末が端末間リレー通信を同時実行する環境下で評価し、考案法の適用方法について考察した。

評価結果より、考案法は複数の端末間リレー通信を想定しても、端末密度によらず、大セル局の無線品質収集用信号によるスループット劣化を安定的に低減することを確認した。また、考案法における近接エリア設定を様々に変更して評価した結果から、トラフィック収容効果を高めるためには可能な限り大きく近接エリアを設定すべきだが、大セル局におけるスループット劣化を低減するためには、同時に設定可能な端末間リレー通信数を制限する必要があることがわかった。このため、大セル局におけるスループット劣化とトラフィック収容効果の間のトレードオフ関係を加味しつつ、端末における接続遅延を満たすよう逐次的に端末間リレー通信を設定するスケジューリングアルゴリズムが必要と考えられ、今後継続して検討する。

また、端末間リレー通信の実用化には、技術観点以外にも、様々な課題が存在する。例えば、リレー端末における他の端末向けのデータの秘匿性を確保するための暗号化方式や、リレー端末へのインセンティブを含めたサービスモデルの検討、リレー端末における端末消費電力の低減などが挙げられる。これらの課題についても、継続して検討を進めていく。

## 謝辞

本研究は総務省受託研究「第5世代移動通信システム実現に向けた研究開発」の成果の一部である。

## 参考文献

- 1) Cisco, Cisco Visual Networking Index : 全世界のモバイルデータトラフィックの予測, 2015~2020年アップデート, 2017年2月2日, available at [https://www.cisco.com/c/ja\\_jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white\\_paper\\_c11-520862.html](https://www.cisco.com/c/ja_jp/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html)
- 2) 5GMF White Paper, "5G Mobile Communications Systems for 2020 and beyond," 第1.1版 (2017年9月)
- 3) 巳之口, 磯部, 高橋ほか, 3GPPにおける5G標準化動向, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, vol. 25, No. 3, 2017
- 4) NTT ドコモ, 電波政策ビジョン懇談会ヒアリング資料, 2014年9月, available at [http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000312578.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000312578.pdf)
- 5) British telecom, 2012年ロンドン五輪 Wi-Fi アクセス, available at [https://www.globalservices.bt.com/jp/ja/casestudy/london\\_2012\\_wi-fi\\_access](https://www.globalservices.bt.com/jp/ja/casestudy/london_2012_wi-fi_access)
- 6) M. H. Hajiesmaili, L. Deng, M. Chen and Z. Li, "Incentivizing Device-to-Device Load Balancing for Cellular Networks: An Online Auction Design," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 35, no. 2, pp. 265-279, Feb. 2017.
- 7) A. Omran, A. BenMimoune and M. Kadoch, "Mobility management for D4D in HetNet," 2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), Windsor, ON, 2017, pp. 1-5.
- 8) V. Kone and S. Nandi, "QoS Constrained Adaptive Routing Protocol For Mobile Adhoc Networks," 9th International Conference on Information Technology (ICIT), Bhubaneswar, 2006, pp. 40-45.
- 9) H. M. Tsai, N. Wisitpongphan and O. K. Tonguz, "Link-quality aware ad hoc on-demand distance vector routing protocol," 1st Int. Sympo. on Wireless Pervasive Computing, 2006.
- 10) Y. Yi, M. Gerla and T. J. Kwon, "Efficient flooding in ad hoc networks: a comparative performance study," IEEE International Conference on Communications (ICC), 2003, pp. 1059-1063 vol.2.
- 11) 北川, 藤本, 趙ほか, D2D リレー通信を適用した5Gシステムの性能評価, 信学技報, vol. 117, no. 457, SR2017-114, pp. 17-23, 2018年2月.
- 12) 3GPP, TS 23.502, v15.2.0, Jun. 2018
- 13) 3GPP, TS 36.331, v15.2.2, Jul. 2018
- 14) 3GPP, TS 29.343, v14.2.0, 2017
- 15) 3GPP, TR 38.901, v14.2.0, Sep. 2017
- 16) 3GPP, TR 36.843, v12.0.1, Mar. 2014
- 17) 3GPP, TR 36.814, v9.2.0, Mar. 2017