

地上／衛星共用携帯電話システムにおける協調制御技術の総合評価

岡田和則 藤野義之 三浦 周 辻 宏之 織笠光明 秋岡眞樹 小宮山典男

地上／衛星共用携帯電話システム (STICS) における地上と衛星によるリソースの協調制御について、開発した地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置を用い、東日本大震災時の実際の通信要求と基地局停波状況を模擬したシミュレーションにより総合評価を行った。その結果、一般端末の通信を強制終話させることが必要になるが、優先して接続すべき優先端末の呼のほとんどを収容することが可能であることが示された。

1 まえがき

移動体通信サービスの社会的役割の重要度は増加の一途をたどっており、特に、防災・減災・安全対策といったミッションクリティカルなユースケースへの対応が非常に重要である。地震などの大規模災害時には、地上の携帯電話システムは、基地局が停波したり、安否確認などのための輻輳が起こり、使えなくなることが多い。しかし、通信衛星は、地上の災害による影響を受けにくいいため、大規模災害時の重要通信の確保に役立つことが期待される。地上／衛星共用携帯電話システム (Satellite/Terrestrial Integrated mobile Communication System: STICS)¹⁾の研究開発プロジェクトの研究開発項目のア項では、地上回線に空き回線がないときには衛星回線を選択する、地上のセル間を端末がハンドオーバーするときに空チャネルがなければ衛星回線にハンドオーバーする等、地上携帯電話システムと衛星携帯電話システムの協調制御による周波数リソースの動的共用基盤技術の確立が目標であり、本技術を用いた STICS が、大規模災害時でも確実に重要な通信を確保する通信インフラとしての役割を担うことが期待される。そこで、本稿では、STICS プロジェクトにおけるア項の協調制御の総合評価として、ダイナミックリソース制御、優先呼制御、呼規制制御が動作したときの評価を、実際の大規模災害時の通信トラヒックと基地局停波状況をモデル化したシミュレーションにより行った結果を述べる。この実際の通信トラヒックと基地局停波状況は、2011年3月11日に発生した仙台市東方沖の海底を震源とする東北地方太平洋沖地震(モーメントマグニチュード(Mw) 9.0)による東日本大震災の状況を用いた。本地震は、発生時点において日本周辺における観測史上最大の地震であり、震源は広大で、岩手県沖から茨城県沖までの南北約 500 km、東西約 200 キロメートルの

およそ 10 万 km² という広範囲すべてが震源域とされている。また、最大震度は宮城県栗原市で観測された震度 7 であった。

協調制御が動作した場合の STICS に関する本格的な性能評価のために、本プロジェクトで初めに開発したシミュレータである「地上／衛星系協調制御総合シミュレータ」は、「トラヒック発生の模擬」と「ダイナミックな制御の模擬」をする機能を有し、「衛星／地上共用携帯端末」、「地上基地局」、「基地局制御局」、「STICS 衛星」、「衛星ゲートウェイ局」、及び「ネットワークダイナミック制御装置」を構成要素としていた。しかし、1 台のコンピュータによりシミュレーションが動作するものであったため、処理速度やシミュレーションモデルの設定規模にコンピュータのハードウェアなどによる制限が存在した。また、実際に起こる構成要素間の制御信号等送受を模擬していなかった。これらのため、STICS が実用された場合の特性を評価することができなかった。

そこで、機能別に分散化し、実利用に即したトラヒック処理や、セル間ハンドオーバー制御等の呼制御を実現するための制御信号・通信信号等を送受する機能を持つ、より実際に近いシミュレーションができるシミュレーションシステムとして、「地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置」を開発した。本装置には、平時から非常時へのシームレスな移行を含むダイナミックリソース制御、優先呼制御、呼規制制御の統合的なリソースの協調制御の特性評価のシミュレーションをできる機能を持たせた。さらに、地震など大規模災害時には、膨大なトラヒックが発生するため、トラヒック発生の模擬において、シミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理、端末発呼の集約化処理を行うことにより、シミュレーション実行の規模を大規模にすることができるようにした。本稿では、この装置を用い、協調制御技術を用いた STICS の総合評価

2 地上／衛星系協調制御技術

を、2011年3月に発生した東日本大震災の環境を模擬したシミュレーションモデルにより行い、その有用性や課題を明らかにした。

本稿の以降の構成は、以下の通りである。2では、「地上／衛星系協調制御総合シミュレータ」とこれを用いた評価の概要と、本文の総合評価に用いたシミュレーションシステムである「地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置」について機能概要等を述べる。また、大規模なシミュレーションができるための手法である、シミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理と端末発呼処理の集約化について述べる。3では、東日本大震災を模擬したシミュレーションモデルを述べる。4では、シミュレーション評価結果を述べ、最後に、5でむすびとする。

2 地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置

2.1 地上／衛星系協調制御総合シミュレータと評価の概要

ここでは、STICSのプロジェクトで初めに開発した地上／衛星系協調制御総合シミュレータとそれを用

いた協調制御の評価結果の概要を述べる。本シミュレータは、「トラフィック発生の模擬」と「ダイナミックな制御の模擬」をする機能を有し、構成要素として、図1に示すような「衛星／地上共用携帯端末」、「地上基地局」、「基地局制御局」、「STICS衛星」、「衛星ゲートウェイ局」、及び「ネットワークダイナミック制御装置」からなるシステムを対象としていた。この地上／衛星系協調制御総合シミュレータでは、主として3つの制御を模擬する機能を搭載した。ユーザ端末の移動制御を司るランダムウォークトラフィック生成制御機能、動的なトラフィック変動を司るダイナミック制御機能、及び、呼の優先制御を司る優先端末制御機能である。

まず、ランダムウォークトラフィック生成制御機能では、端末が通信サービスを利用しながら、ランダムウォークモビリティモデルに従って移動した際のトラフィックを生成する。ランダムウォークは、ブラウン運動などの物理的な事象のモデル化、株価の値動きなどの数理ファイナンス領域でのモデル化、さらに、移動通信ユーザの移動モデル化などに広く応用されている基本的なモデルである。

本モデルを用いてユーザ移動を模擬しトラフィック生成を行った。その結果、実際の震災時のトラフィックを

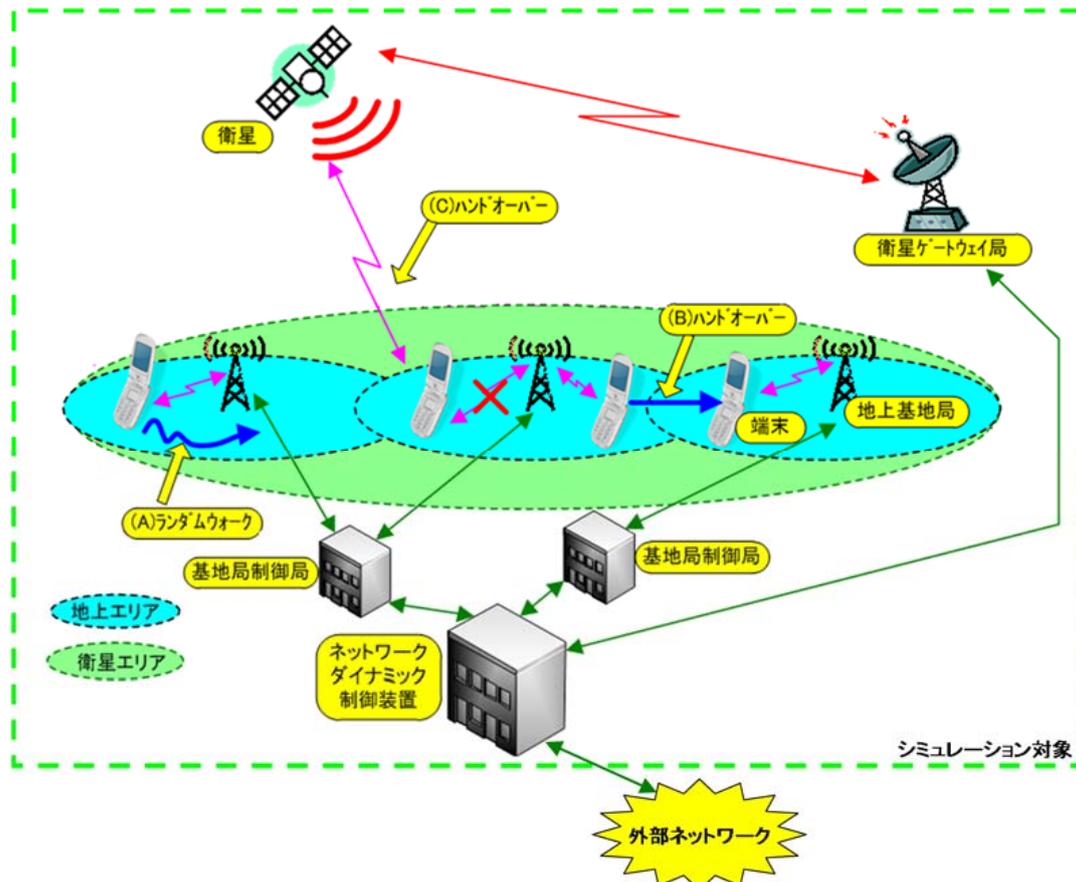


図1 地上／衛星系協調制御総合シミュレータの対象モデル

おおよそ模擬できることを確認した。

次に、ダイナミック制御機能では、上記のランダムウォークトラフィック生成で生成したトラフィック変動に対して、動的にリソース割当て制御を行うことによって、地上系と衛星系間の周波数共用を模擬するシミュレーション機能を提供した。災害時のような急激なトラフィック変動に対しては、事前予測を含む効率的な通信資源制御が必要であり、それによって、通信機会の最大化、及び通信品質劣化の最小限化を実現しなくてはならない。STICSでは、トラフィックのダイナミック性を表す要素として、チャンネルの利用状況情報(使用率)、利用チャンネルの時間的推移情報(変動率)、及び周波数割当て状況と実トラフィックの大域的な差異情報(異常検出)の3指標を定義し、その指標に基づいて通信資源の最適化制御を行うことが検討^[23]されていた。そして、本シミュレータを用いて、使用率と変化率による上記の周波数資源の協調制御を行い、衛星回線の動的制御を行うことによって、行わない場合と比較して、呼損数が5%程度改善されることを確認した。

さらに、優先端末制御機能では、緊急呼のような優先度の高い端末の呼処理を特定のポリシーに従って処理することが可能なシミュレーション機能を提供している。一般的に、携帯電話システムは、国際標準化団体である3GPP(3rd Generation Partnership Project)の標準仕様に従って、世界的に商用サービスが展開されている。その3GPPにおける優先呼の取り扱いや発信規制に関する標準化状況を概観すると、これまでは、緊急呼のような優先呼は基本的に規制の対象外となっており、規制については全呼規制、国際呼規制、ホーム網以外の呼規制の3カテゴリに大別され、規制サービスはベンダ依存といった状況であった^[4]。しかし、最近では重要通信の確保が重要なトピックとして再認識されており、新たな呼の優先制御サービスとして、eMLPP(enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption service)が検討・標準化されている^[5]。このeMLPPは、呼に対して優先度を割り当てることのみならず、高優先度呼をPre-emptしてまでも強制的に接続させるサービスも規定している。このサービスは、強制的な制御を含むこともあり、まだ実用レベルとして行う段階には至っていない。しかし、特に災害時に、緊急呼を優先して確保することの重要性を考えると、STICSでは、強制的な制御も含めた検討が必要であると考へた。地上／衛星系協調制御総合シミュレータでは、優先度制御ポリシーを定義して、呼の優先制御を行い、シミュレーションにより、STICSにおいても優先制御機能が実現可能であることを確認した。

そして、最終的に、地上／衛星系協調制御総合シミュ

レータを用いて、STICSが、災害発生時等で地上回線が輻輳している場合に、ユーザの緊急通話要求に対応するため、地上回線から衛星回線に円滑にハンドオーバーし、災害発生時等の輻輳を軽減可能であることが確認した。

2.2 地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置の構成

地上／衛星系協調制御総合シミュレータは、1台のコンピュータでシミュレーションを行うものであったため、大規模なシミュレーションはできず、シミュレーションする対象地域が限定されていた。また、ハンドオーバー制御等を実現するため制御信号・通信信号等の送受の模擬はできないものであった。そこで、端末発呼処理の集約化、さらに、トラフィック発生を模擬において、シミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理を行い、災害時の実トラフィックに近づける改善を行った。さらに、構成要素を機能ごとに分散化し、実利用に即したトラフィック処理、セル間ハンドオーバー制御等の呼制御を実現するための制御信号・通信信号等を実際に送受するという機能、さらに、平時から非常時へのシームレスな移行を含むダイナミック制御、優先呼制御、呼規制制御の協調制御機能を実装し、より実体に近いシミュレーションシステムとして、地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置を構築した。

地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置の構成を図2に示す。ネットワークダイナミック制御装置、基地局制御局、地上基地局の模擬を行う「総合監視管理模擬装置」、衛星局及び衛星ゲートウェイ局の模擬を行う「衛星／衛星フィーダリンク局模擬装置」、端末を模擬する「実通信端末装置」に、それぞれ機能を分散化することにより、端末からの発呼に対して地上基地局、衛星局の状況に応じて各機器が協調動作を行い、呼制御動作が実際に処理可能なシステムの構築を行った。周波数共用を行ってリソース最適割当てを実現するための衛星搭載技術として、16素子以上の給電部を備え超マルチビーム形成(100ビーム以上)を可能とする衛星系チャネライザ／デジタルビーム形成回路(DBF)を開発したが、そのDBFチャネライザとのインターフェースは衛星／衛星フィーダリンク局模擬装置が担うこととした。そして、トラフィックの状況に応じて、衛星リソースダイナミック制御アルゴリズムに従い、DBFチャネライザに対してリソース設定コマンドを送出する。

2.3 機能概要

ここでは、地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置の呼制御協調動作機能、DBFチャネライザによ

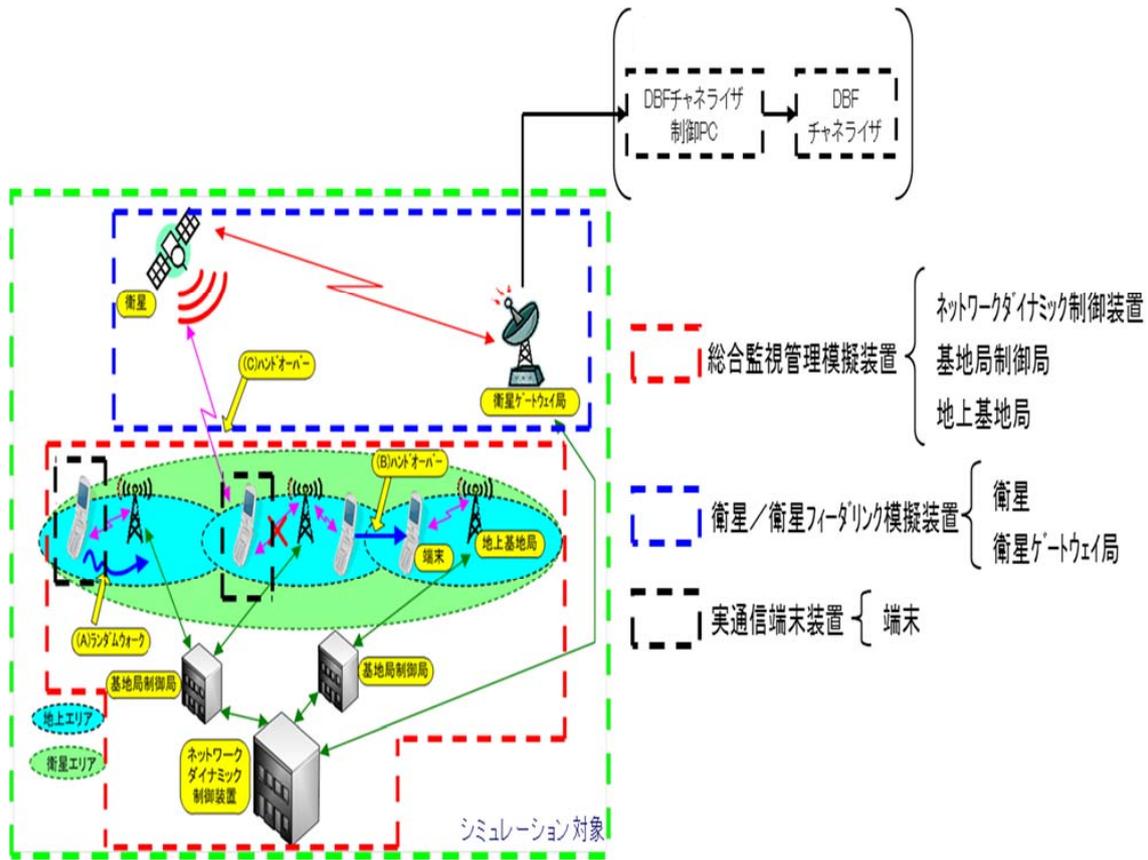


図2 地上／衛星系総合ネットワーク監視管理装置の構成

る衛星リソースダイナミック制御機能、大規模シミュレーションのための処理機能について概要を述べる。

2.3.1 呼制御及び優先呼制御動作機能

実通信端末装置からの発呼に対して、トラヒックシミュレーションの結果をもとに地上基地局／衛星局の回線使用状況に応じた動的な呼制御動作を行う。

発呼処理フローを示す。

- ①実通信端末装置が地上基地局エリア内の場合、実通信端末は地上基地局へ向けて発呼要求を行う。地上基地局の回線に空きがあれば発呼成功となる。
- ②その地上基地局の回線に空きがない場合、地上基地局は接続を拒否する。
- ③接続拒否となった場合、または地上基地局エリア外の場合、実通信端末は衛星局に向けて発呼要求を行う。衛星局の回線に空きがあれば発呼成功となる。
- ④衛星局の回線に空きがない場合、実通信端末が一般端末であれば接続を拒否し、発呼失敗となる。実通信端末が優先端末であれば一般端末の通話を切断して発呼成功となる。
- ⑤回線確立後は実通信端末からの音声信号を地上基地局／衛星局が各装置間で転送処理を行うことで音声通話を実現する。

⑥地上基地局を経由して通話中の実通信端末が地上基地局エリア外に移動した場合、衛星局を使用した回線にハンドオーバーを行い、回線維持を行う。これらの処理により、実際の音声通信の経路を動的に切り替えることができるようになっている。

災害時などに行政、消防等公共機関における緊急通信の手段として優先端末が存在する。優先端末は各キャリアからの通信規制を受けない端末であり、先の東日本大震災時にも緊急通信手段として優先端末が活用されたと考えられる。災害時のトラヒック状況を模擬するには、この優先端末についても模擬することが必要と考え、シミュレータに優先端末機能を付加することとした。

シミュレータでの優先呼制御動作は、シミュレーション時に以下の動きが選べるものとした。

- ①優先端末の発呼を接続するために、地上局が収容限界時には接続中の一般端末を強制切断して優先端末の発呼を受け入れる。
- ②優先端末の発呼を接続するために、地上局が収容限界時には接続中の一般端末を強制的に衛星回線へハンドオーバーし、優先端末を地上局に接続する。
- ③優先端末の発呼を衛星回線へ接続する。この時衛

星回線が収容限界の場合は優先端末の発呼を拒否(呼損)する。

- ④優先端末の発呼を衛星回線へ接続する。この時衛星回線が収容限界の場合は衛星回線接続中の一般端末を強制切断し、優先端末の発呼を受け入れる。

2.3.2 DBF チャネライザによる衛星リソースダイナミック制御機能

衛星リソースダイナミック制御のアルゴリズムを図3に示す。衛星回線の使用率及び変化率(単位時間の衛星呼の増加量)を監視し、数分後の衛星回線の使用率を予測する。予測値の閾値判断により、衛星収容回線数の制御(拡大/縮小)を行う。このアルゴリズムに従い、シミュレーション内で、衛星リソース制御が行われる。衛星ゲートウェイ局からDBFチャネライザ制御PCを介し、衛星リソース制御(拡大/縮小)のタイミングで実際のDBFチャネライザに対して、リソース設定コマンドを送出し、DBFチャネライザを動作させ、実際にダイナミック制御が可能であることを実証できるようになっている。

2.3.3 大規模シミュレーションのための処理機能

災害時のトラヒックは、安否確認などのため急激で大量である。このようなトラヒックを扱う大規模なシミュレーションを実現可能にするため、シミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理と端末発呼の集約化処理を行った。

2.3.3.1 シミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理

シミュレーション間隔が分単位だと最小時間間隔は1分である。電話の通話時間(保留時間)は通常、平均120秒の指数分布に従うといわれている。これに対して、最小時間間隔を1分とすると、120秒は2分なので、シミュレーションの分解能が粗いことになる。指数分布から計算した保留時間は、シミュレーション間隔単位に切上げとなるため、図4に示した赤線がシミュレータ上の保留時間の分布となり、指数分布グラフからはみ出した分だけ、呼量が多く計上されることになる。

そこで、シミュレーション間隔を1秒とすることで精度の高いシミュレーションが可能となるが、計算機の制約(データ量、メモリ使用量、演算時間等)により、長期間に渡るシミュレーションが難しくなってしまう。指数分布グラフからはみ出す部分が誤差要因であるので、誤差を相殺するため、各端末の保留時間を指数分布に基づき算出したのち、シミュレーション間隔の半分の時間を保留時間から減算する処理を追加した。

図5のように保留時間が指数分布のグラフを中心とした分布になることから、シミュレーション間隔離散化の誤差を吸収できると考えた。ただし、保留時間がシミュレーション間隔未満の端末については、保留時

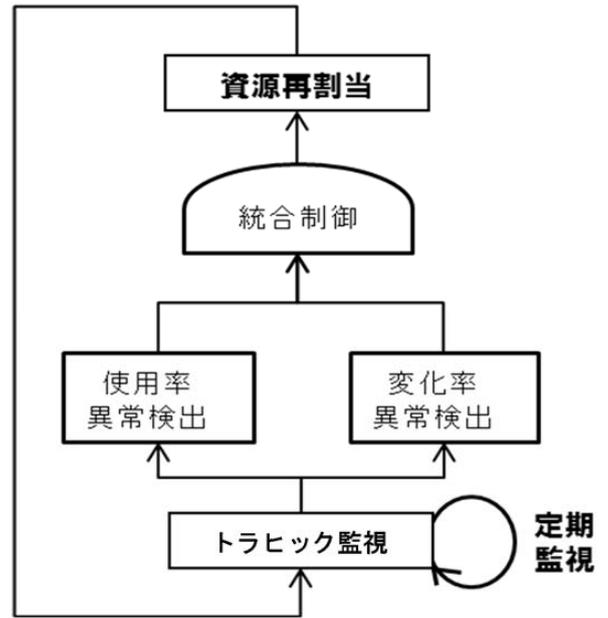


図3 衛星リソースダイナミック制御アルゴリズム

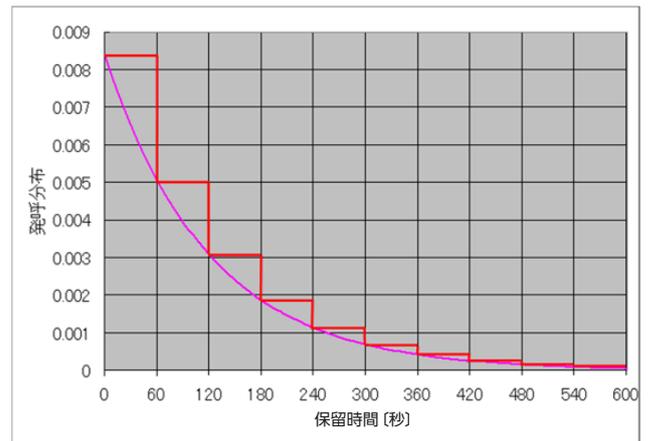


図4 保留時間の分布と離散化誤差

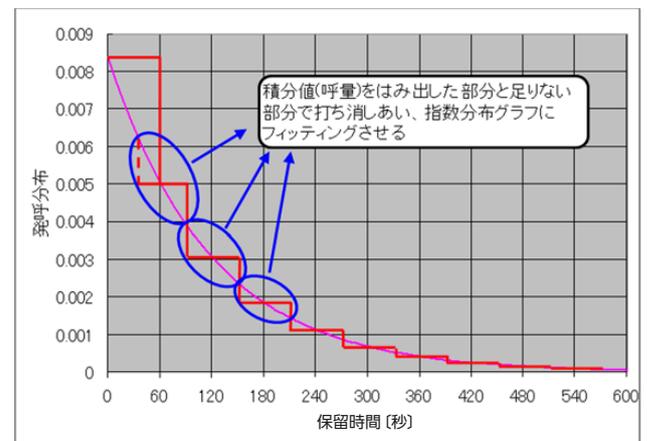


図5 シミュレータ保留時間分布

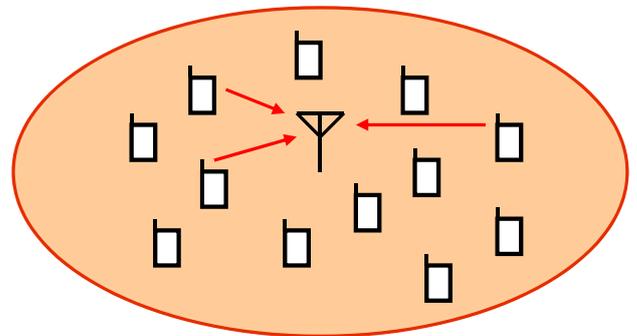
表1 シミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理評価検証結果

基地局容量	平均発呼台数(設定)	シミュレーション間隔	発呼台数(定常)	呼損台数(定常)	呼損率	アーランB呼損率
100	180	60	10334	7642	73.95007	72.53
		30	10092	7235	71.69045	71.87
		10	10256	7347	71.63612	72.16
		5	9890	6993	70.70779	71.26
		1	10027	7180	71.60666	71.53
	300	60	17235	14621	84.83319	83.5
		30	17079	14242	83.38896	83.2
		10	16770	13838	82.5164	82.89
		5	16823	14016	83.31451	82.9
		1	16839	13947	82.82558	82.93
200	180	60	9917	4711	47.50429	43.89
		30	9664	4092	42.34272	42.44
		10	9569	3806	39.77427	41.71
		5	9396	3749	39.89996	40.65
		1	9682	3978	41.08655	42.29
	300	60	16630	11338	68.17799	65.81
		30	16498	10909	66.12317	65.54
		10	15982	10198	63.80929	64.43
		5	16088	10226	63.5629	64.61
		1	15859	10219	64.4366	64.07
300	180	60	9400	1893	20.1383	15.28
		30	8859	1008	11.37826	11.43
		10	8814	871	9.882006	11.04
		5	8881	921	10.37045	11.27
		1	8590	786	9.150175	9.02
	300	60	16127	8190	50.7844	48.1
		30	16015	7604	47.48049	47.28
		10	15355	6826	44.45458	45.19
		5	15220	6602	43.37714	44.63
		1	15116	6656	44.03281	44.31

間が0秒以下になり単純に補正できずに誤差が発生する。そこで、シミュレーションの大規模化のための本処理の妥当性について検証した。

妥当性の検証に使用したモデルを図6に示す。地上の1セルに端末を配置しシミュレーションを行い、実際の発呼台数と発呼失敗台数から呼損率を計算し、実際の発呼台数に保留時間の平均である120秒を掛けたものを呼量として、アーランB式により求めた呼損率と比較する。シミュレーション開始時は、発生呼数が少なく、チャンネルはほとんどが空いているという特殊な状態になっているので、これを除いてシミュレーション観測する必要がある。そこで、本検証では、発呼失敗(呼損)が初めて発生した状態から120秒経ったときから3,600秒間をシミュレーション期間とする。

検証の結果を表1に示す。シミュレーション間隔60秒の場合、アーランB式から求めた呼損率に比べ、2~5%程度呼損率が高くなっていた。その他のシミュレーション間隔であれば、ほぼアーランB式と一致することが確認できた。したがって、シミュレーション間隔30秒以下であれば、シミュレーションは妥当な結果が得られると考えられる。次節のシミュレーションモデルでは、より精度が高くなるように、シミュ



地上セル	1セル(端末はすべてセル内とする)
基地局容量	100, 200, 300回線の3通り
端末数	3,000台
平均発呼台数	60秒あたり180, 300台の2通り
平均通話時間	120秒
シミュレーション期間	3,600秒
シミュレーション間隔	60, 30, 10, 5, 1秒の5通り

図6 シミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理評価モデル

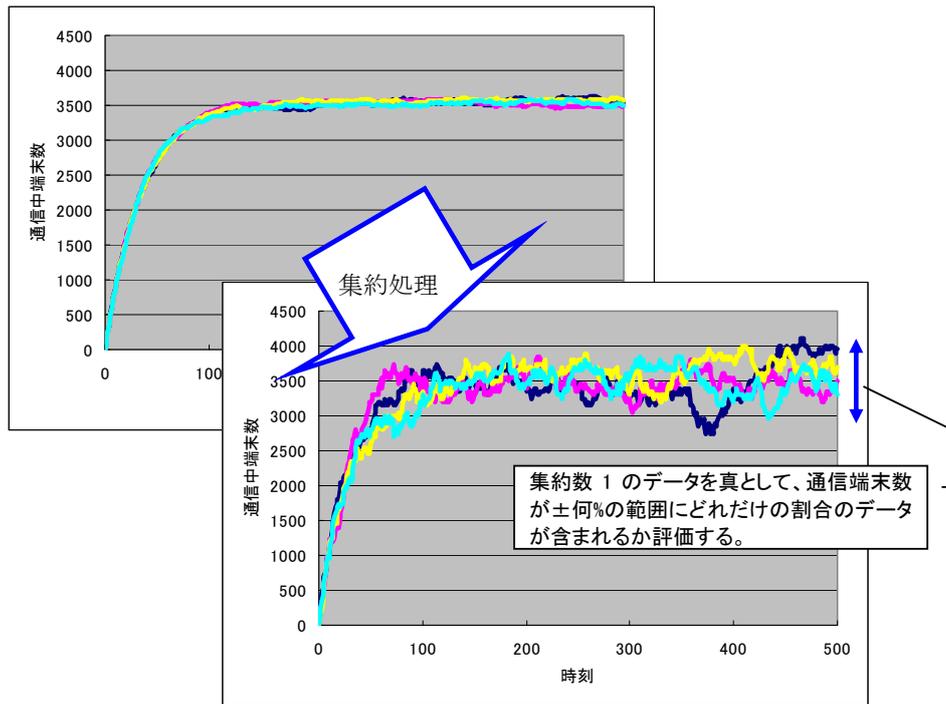


図7 集約処理の影響

レーション間隔は、30秒ではなく10秒とした。

2.3.3.2 端末発呼処理の集約化

シミュレーションの大規模化に伴い、エリア内の端末数が非常に多くなる。この結果、計算機の制約(データ量、メモリ使用量、演算時間等)により、シミュレーションの実行が難しくなってしまう。そこで、複数の端末を1台とみなしてしまい、シミュレーションの軽量化を行うこととした。ポアソン分布による発呼台数計算では、1台単位で発呼数を決定するため、端数が生じる。端数を切り捨てると、発呼数自体が減ってしまい、呼量が想定よりも少なくなってしまう。端数を切り上げると、発呼数が多くなるため、平均保留時間を調整することにより、全体の呼量を等しく保つこととする。

以下に一例を示す。

平均保留時間 T 秒として、発呼端末数が55台だったとすると、その呼量は

$$55 \times T = 55T$$

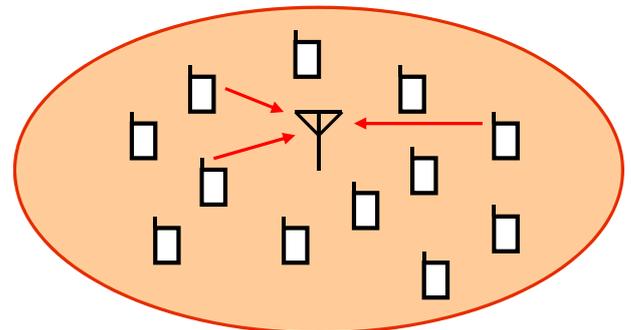
である。端末集約数を10台としたとき、端数を切り上げると、60台となるので、

$$60 \times T = 60T$$

となる。実際の発呼台数/集約後の発呼台数によって平均保留時間を短くし、呼量を維持する。

$$60 \times T \times 55 / 60 = 55T$$

本処理の結果、発呼・終話が集約数単位で発生するため、図7の集約処理後のグラフのように通信中の端末数の推移がバタついて観測される。そこで、集約数1



地上セル	1セル(端末はすべてセル内とする)
基地局容量	5,000回線
端末数	5,000台
平均発呼台数	1秒あたり100, 10.5台の2通り
平均通話時間	120秒
シミュレーション期間	500秒
シミュレーション間隔	1秒
集約数	100, 50, 20, 10, 5, 1の6通り

図8 端末発呼の集約化検証評価モデル

のデータを真として、通信中の端末数が±何%の範囲にどれだけのデータが含まれるかを評価し、妥当性を確認した。

図8に端末発呼処理の集約化の検証評価モデルを示す。地上1セルに端末を配置しシミュレーションを行い、集約数ごとの集約数を変化させ、通信中端末数の

2 地上／衛星系協調制御技術

データの信頼区間を評価する。(集約数1のデータを真として、通信端末数が±何%の範囲にどれだけの割合のデータが含まれるか評価する。)

端末発呼の集約化検証評価結果の一例を図9、10に示す。信頼区間の計算結果を図11、12に示す。図11、12において、横軸が真値からの誤差範囲、縦軸がその範囲内に含まれるデータの割合である。

平均発呼台数の半分以下の集約数であれば、±10%の範囲に約90%のデータが含まれることが確認できる。したがって、平均発呼台数を目安に、その半分以下の集約数であれば、ある程度妥当なシミュレーション結果が得られると考えられる。この結果に基づきシミュレーションモデルの設定を行った。

3 東日本大震災を模擬したシミュレーションシナリオ

前節で述べたシミュレーション間隔の離散化誤差の軽減処理、端末発呼処理の集約化により、大規模なシミュレーションを実行することが可能となる。そこで、STICSの有用性や課題を明らかにするため、東日本

大震災により近い環境を模擬したシミュレーションを行う。また、この大規模災害を模擬した輻輳状況において、実通信端末の制御が動作し、地上／衛星間を動的に切り替えて音声通信が行えることを確認する。

3.1 シミュレーションシナリオ概要

東日本大震災を模擬したシミュレーションシナリオの設定にあたり、各設定パラメータの根拠として使用している各参照種資料を表2に示す。その他明確でないパラメータについては仮定を行い設定した。シナリオ設定パラメータのサマリを表3に示す。

3.2 シミュレーションエリア

シミュレーションエリアを、シミュレータの画面を用いて、図13に示す。

シミュレーションエリアは、人口密度に比例させるため、かつ、計算負荷軽減のため、人口分布が近い隣の2次メッシュ4つで1エリアとし、合計28エリアで東日本大震災を想定して、震度の最も大きかった

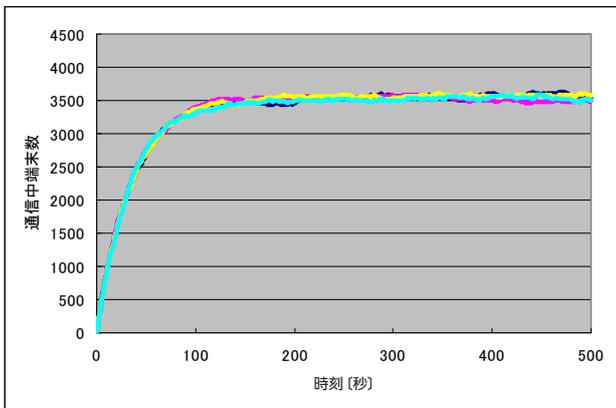


図9 通信中端末数推移 (平均発呼台数 100 台 / 秒、集約数 1 台)

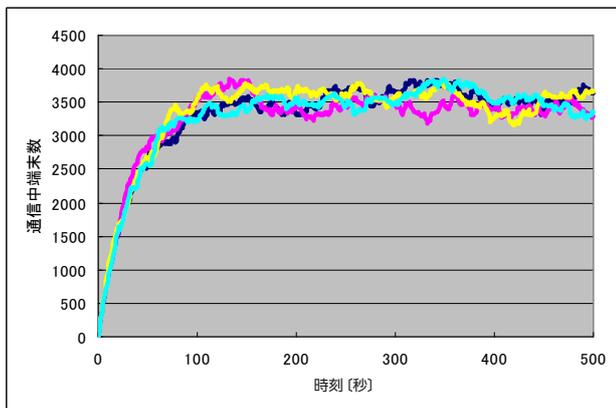


図10 通信中端末数推移 (平均発呼台数 100 台 / 秒、集約数 20 台)

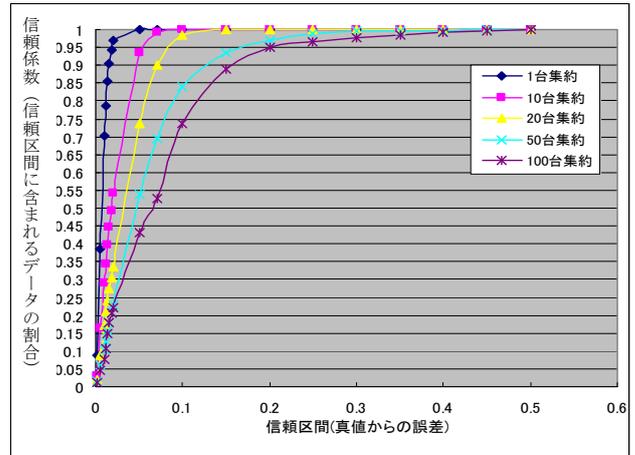


図11 信頼区間計算結果 (平均発呼台数 100 台 / 秒)

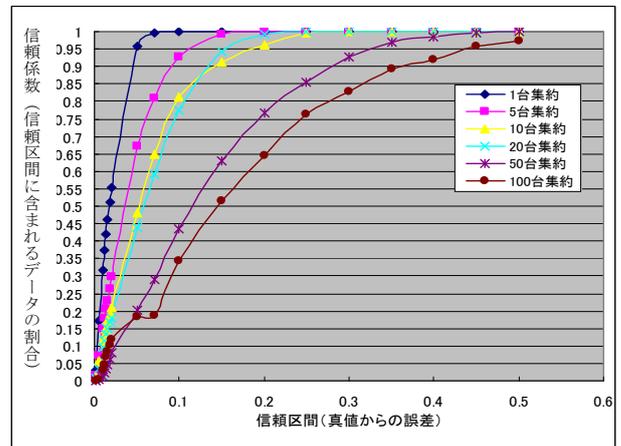


図12 信頼区間計算結果 (平均発呼台数 10.5 台 / 秒)

表2 シミュレーションシナリオ設定に関する参照資料一覧

資料 No.	資料名	作成者	根拠として使用した項目
資料①	地域別統計データベース(市区町村別人口分布) e-stat 政府統計の総合窓口より http://www.e-stat.go.jp/SG1/chiiki/CommunityProfileTopDispatchAction.do?code=2	総務省	・端末配置 ・平常時平均発呼台数 ・地上基地局収容回線数
資料②	「重要通信の高度化の在り方に関する研究会」について重要通信の高度化の在り方に関する研究会(第1回) 資料1-3、pp.21 http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/policyreports/chousa/jyuyou-t/pdf/071122_1_sil-3.pdf	総務省	・優先端末数
資料③	大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会(ネットワークインフラ WG)、 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会ネットワークインフラWG(第2回)、資料2-1、pp.3 http://www.soumu.go.jp/main_content/000117676.pdf	NTT ドコモ	・シミュレーション期間 ・発呼規制率 ・震災発生後平均発呼台数
資料④	トラヒックから見た我が国の通信利用状況【平成20年度】 pp.50 http://www.soumu.go.jp/main_content/000052399.pdf	総務省 総合通信基盤局	・平常時平均発呼台数
資料⑤	東日本大震災における通信の被災状況、復旧等に関する取組状況、首都直下地震に係る首都中枢機能確保検討会(第2回)、 資料1、pp.7 http://www.bousai.go.jp/kaigirep/kentokai/kinoukakuho/2/pdf/1.pdf	総務省	・基地局停波要因割合 ・シミュレーション終了時刻での基地局停波割合
資料⑥	東北地方太平洋沖地震への対応状況(復旧計画)について(2011/3/30) http://www.nttdocomo.co.jp/corporate/ir/binary/pdf/library/presentation/110330/notice_110330-2.pdf	NTT ドコモ	・3/13時点での基地局停波割合
資料⑦	IIP ネットワーク設備委員会・通信確保作業班 第1回会合(2011.10.19)の補足説明、情報通信審議会 情報通信技術分科会 IP ネットワーク設備委員会(第18回)通信確保作業班(第2回)合同会合、 資料18-1-3、pp.1-7 http://www.soumu.go.jp/main_content/000136724.pdf	NTT ドコモ	・地上基地局収容回線数

表3 シナリオ設定パラメータのサマリ

項目	設定概要	設定根拠
シミュレーションエリア	・栗原市周辺及び沿岸部 ・1エリアにつき2次メッシュ4つ	東日本大震災時の最大震度エリアを想定、1エリアのサイズは人口分布を模擬できるサイズ
シミュレーション期間	・3/11の14時～3/12の2時 (地震発生時刻14時46分) シミュレーション間隔10秒	シミュレーション終了時刻は資料③より発呼規制解除時刻とした。
地上基地局配置	・各シミュレーションエリアにつき1つの基地局で代表させた。	現実の基地局配置に関する具体的な情報が不明なことから、1エリアにつき1つの基地局を配置し、そのエリアの基地局の統計として処理することとした。
端末配置	・端末配置は人口分布による。 ・優先端末割合は一般端末の0.072% ・集約数は10台	人口分布は資料①より 優先端末の割合は資料②より
平均発呼数	・通常時は人口分布による。 ・災害発生後は資料③をトレース	平常時の平均発呼台数は資料④より 災害発生後は資料③より
地上基地局収容回線数	・平常時ピークの平均発呼台数において、呼損率が3%となる収容回線数の1.5倍	呼損率3%となる収容回線数は、アールンB式より計算し、この1.5倍程度を収容できると類推した(資料⑦)。
地上基地局収容回線数変化	・地震発生直後の倒壊、伝送路断、津波による流出、長期停電によるバッテリー切れでの停止を模擬	要因別の基地局停止割合は資料⑤より、資料⑥の別紙3-2の面積比で基地局停止割合を想定、時間変化は要因ごとに仮定した。

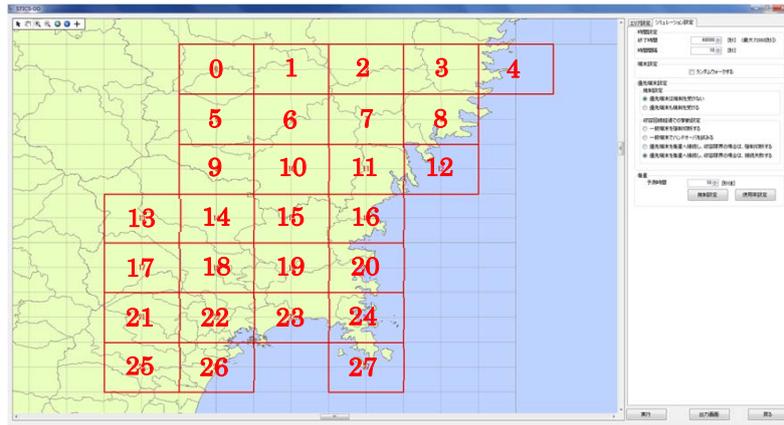


図 13 シミュレーションエリア (No.14 が栗原市中心部に該当)

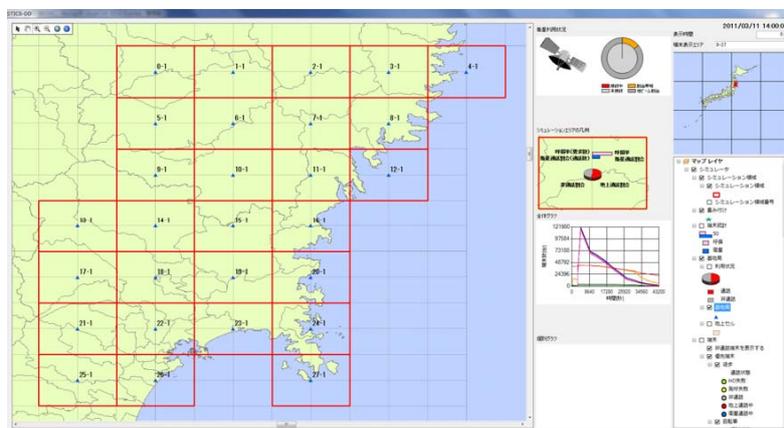


図 14 地上基地局配置

栗原市とその周辺及び、津波による大被害のあった沿岸部のシミュレーションを行う。

3.3 発呼状況、シミュレーション期間、発呼規制

東日本大震災の発呼状況を模擬するため、資料③の「東北地域における音声トラヒック状況」を参照して発呼させた。大規模災害時の発呼は、地震発生時から急増し、システムを保護するために発信規制が掛かり、ピークを経て時間と共に減少するのが典型である。資料③のトラヒック状況も同様であり、地震発生は 14 時 46 分で、発呼のピークは 15 時から 16 時頃、発信規制が 80% 掛かった状態でも通常時の 12.6 倍となり、その後、発呼は減少し、通常時の昼間の発呼より少なくなり、さらに、深夜となる翌日の午前 2 時には、発信規制は完全に解除された。そこで、本シミュレーション期間は、地震発生前の 3 月 11 日 14 時から、発呼規制が解除される 3 月 12 日 2 時までとした。発呼規制は、3 月 11 日 15 時から開始とし、発呼規制率は 80% で、シミュレーション間隔は 10 秒とした。

3.4 地上基地局配置

地上基地局の配置図を図 14 に示す。計算負荷の軽減のため 1 エリアにつき当該エリア全体を包含する基地局を 1 つ配置し、当該エリアの地上基地局の統計として処理することとした。各地上基地局の容量をエリアの人口分布に応じて調整を行うことで、シミュレーションの有効性は変わらないと考えられる。

3.5 端末配置

総務省の平成 22 年度人口分布(資料①)をもとに、各エリアに端末を配置した。端末集約数は 10 として、シミュレーションエリアの人口分布に基づき、一般端末として合計 2,532,670 台相当 (10 × 253,267 端末) を配置した。

シミュレーション間隔あたりの平均発呼台数が人口分布によって異なるが、大部分のエリアにおいて 20 台～数千台である。また、地震発生後には更に数十倍の平均発呼台数となることから、2.3.3.2 の「平均発呼台数の半分以下の集約数であれば、± 10% の範囲に約 90% のデータが含まれる」という結果より、集約数 10 でも妥当な結果が得られると考えられ、計算負

荷軽減のために集約数10の設定とした。シミュレーションエリアごとの端末配置数を表4に示す。

また、優先端末については、資料②に基づき、各エリアの一般端末数の0.072%として約1,800台を配置した。

3.6 平均発呼台数

平常時に発呼数がピークとなる時間（17時後半）に配置端末のうち約1.1%の端末が通信中であると仮定

表4 各シミュレーションエリアの端末配置数

エリア No.	端末配置数 [台相当]	エリア No.	端末配置数 [台相当]
0	86420	15	65340
1	46320	16	27530
2	16620	17	36770
3	23430	18	143420
4	14860	19	62020
5	32250	20	12550
6	74470	21	65300
7	14600	22	131930
8	48340	23	167620
9	36600	24	16190
10	70790	25	427930
11	65920	26	760040
12	14120	27	2730
13	11380	合計	2532670
14	57180		

すると、通信中の端末数分の呼量が運ばれていることになる。平均保留時間が120秒であることから、この呼量を120で割ると、1秒当たりのピーク時の平均発呼台数が求まる。地震発生前（平常時）の各エリアの平均発呼台数は、そのピーク時平均発呼台数を基準として、資料④の時間帯別発呼数の比に応じて設定した。資料④においてピーク時を含む17時から18時の時間帯の通信回数比率は8.8%で、地震発生時（14時46分）を含む14時から15時の時間帯の通信回数比率は6.3%であるため、ピーク時を含む時間帯の平均発呼台数の6.3/8.8を地震直前の平常時の平均発呼台数とした。

地震発生後は、資料③の「東北地域における音声トラヒック状況」を参照し発呼数の割合をトレースした結果に基づき変化させる。同資料により、最大時は地震発生前の約60倍の平均発呼台数とし、発呼規制も80%とする。各エリアの平常時ピークの平均発呼台数及び地震後最大時の平均発呼台数を表5に示す。

3.7 シミュレーションエリアの地上基地局収容回線数と停波による変化

各シミュレーションエリアの地上基地局の収容回線数は、人口分布に基づくものとする。資料⑦より、通常使われる回線数の1.5倍程度を収容できると想定した。平常時、発呼台数がピークとなる時間帯の平均発呼台数において、平均保留時間の120秒を掛けて呼量を求め、呼損率が3%となる収容回線数をアーランB式から計算し、その値を1.5倍した値を各シミュレー

表5 各シミュレーションエリアの平均発呼台数

エリア No.	平均発呼台数 (平常時ピーク) [台/10s]	平均発呼台数 (地震後最大) [台/10s]	エリア No.	平均発呼台数 (平常時ピーク) [台/10s]	平均発呼台数 (地震後最大) [台/10s]
0	79	3262	15	60	2466
1	42	1748	16	25	1043
2	15	627	17	34	1388
3	22	887	18	131	5413
4	13	534	19	57	2341
5	30	1217	20	11	462
6	68	2811	21	60	2465
7	13	551	22	121	4981
8	45	1843	23	153	6286
9	34	1382	24	15	619
10	65	2672	25	392	16152
11	60	2487	26	699	28767
12	13	552	27	3	118
13	10	430			
14	52	2158			

2 地上／衛星系協調制御技術

シミュレーションエリアの地上基地局収容回線数とした。このように計算した各シミュレーションエリアの地上基地局収容回線数を表6に示す。

地震発生後、長期の停電などの要因で基地局が停波していく。本シミュレーションでは、この基地局停波を地上基地局収容回線数の減少により模擬することとした。資料⑥の3月13日(日)18時時点の携帯電話

表6 各シミュレーションエリアの収容回線数

エリア No.	収容回線数 [回線]	エリア No.	収容回線数 [回線]
0	1410	15	1080
1	760	16	460
2	280	17	620
3	410	18	2300
4	250	19	1030
5	550	20	210
6	1220	21	1080
7	250	22	2130
8	810	23	2670
9	620	24	280
10	1160	25	6640
11	1080	26	11630
12	250	27	70
13	190	合計	40380
14	940		

表7 各シミュレーションエリアの不通エリア面積比

エリア No.	不通エリア面積比 (3/13 18時点) [%]	エリア No.	不通エリア面積比 (3/13 18時点) [%]
0	19.6	15	96.0
1	21.7	16	91.0
2	86.3	17	98.6
3	87.8	18	80.6
4	97.1	19	95.6
5	42.1	20	97.1
6	55.8	21	95.8
7	86.5	22	97.7
8	98.4	23	99.8
9	51.8	24	99.8
10	66.3	25	91.6
11	93.4	26	28.7
12	100.0	27	100.0
13	83.1	全体	67.0
14	82.8		

使用可能エリアと使用不可エリアを示した地図(別紙3-1(岩手県)と3-2(宮城県))のサービスエリアに対する不通エリアをトレースして、それ以外のエリアの面積との比率を計算して求め、その割合だけ収容回線数を減らすこととした。計算して求めた不通エリアの面積比率を表7に示す。

さらに、今回のシミュレーションの期間は3月12日(土)2時までであるため、その時点での収容回線数の減少分を以下のように計算する。資料⑤の7ページの「携帯電話基地局の停波基地局数の推移」に停波基地局数の変化が表示されているので、これを各シミュレーションエリアにも適用できると仮定する。それによると3月13日の停波基地局数が約6,700局、3月12日の停波基地局数が約4,000局であるので、シミュレーション終了時の地上基地局収容回線数の減少分の数値は、表7の数値の4,000/6,700とする。

また、地上基地局の停波要因を資料⑤に基づき示す。各シミュレーションエリアを、最大震度領域、沿岸部、その他内陸部の3種に区分し、各停波要因ごとに収容回線数の減り方を次のように仮定した。

- ①地震：最大震度領域で、地震発生直後に失われたとする。
- ②津波：沿岸部で、地震発生2時間後を津波到来とし、そのタイミングで失われたとする。
- ③伝送路断：全エリアで、地震発生直後から余震等により時間経過後徐々に失われたとする。
- ④停電：全エリアで、地震発生3時間後から各基地局のバッテリー容量の差により時間経過で徐々に失われたとする。

各シミュレーションエリアの停波要因の違いによる区分を図15に示す。また、各区分における地上基地局収容回線数の設定例を図16～18に示す。最後に全

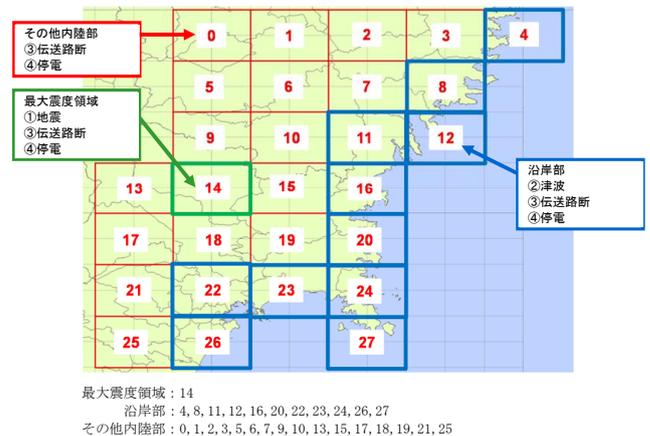


図15 シミュレーションエリアの停波要因による区分

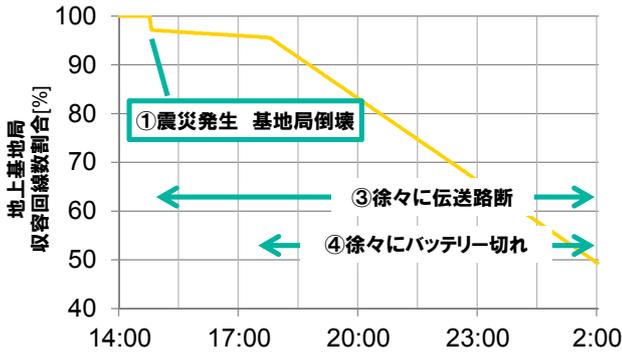


図 16 地上基地局収容回線数の設定例 (最大震度領域：エリア 14)

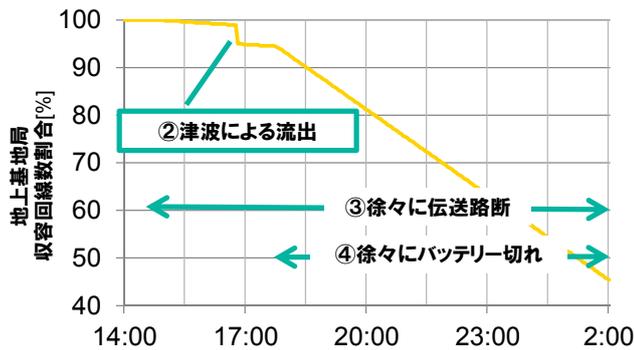


図 17 地上基地局収容回線数の設定例 (沿岸部：エリア 16)

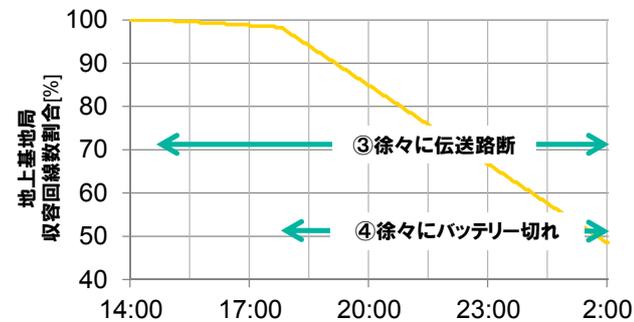


図 18 地上基地局収容回線数の設定例 (その他内陸部：エリア 2)

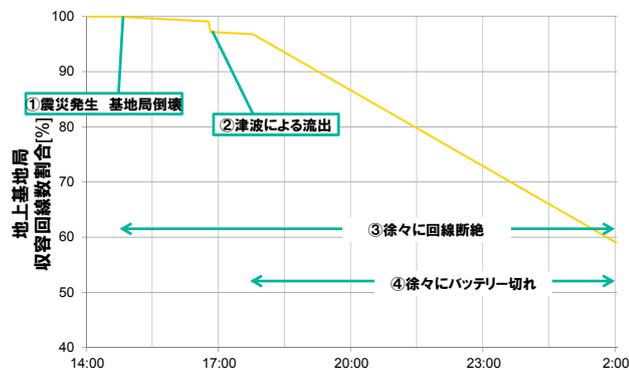


図 19 地上基地局収容回線数の設定例 (全エリア合計)

表 8 衛星リソースダイナミック制御の設定

衛星収容回線 (1回線あたり 10kHz 換算) [回線]	リソース拡大閾値 [%]
400	-
800	30
1600	60
2500	100

エリアの地上基地局を合計した収容回線数減の設定を 図 19 に示す。

3.8 衛星リソースダイナミック制御の設定

衛星の収容回線数については、STICS プロジェクトのイ項で開発された DBF チャネライザを想定して、通常時は 4 MHz × 7 ビーム繰り返しとする。災害時に被災ビームへのリソース割当てをダイナミック制御により増加させるときは、被災地ビーム以外の 6 ビームにもリソースを最低限 (500 kHz) 残す必要があると考え、被災地ビームには、最大 25 MHz まで割り当てることとした。

衛星リソースダイナミック制御として、衛星回線の使用状況から 100 秒後の使用状況を予測し、あらかじめリソースの拡大を行う。ダイナミック制御の設定を表 8 に示す。2,500 回線を 100% とし、予測した所要回線数がリソース拡大閾値を超えた場合に、該当する衛星収容回線数に設定することとした。

協調制御の総合評価

4 シミュレーションの結果

本節では、地上/衛星系総合ネットワーク監視管理装置を用いて、3 に述べた東日本大震災を想定したシミュレーションモデルにより、協調制御が行われた場合の STICS のシミュレーション評価結果を述べる。

4.1 結果概要

地震発生後の状況をシミュレータの画面により、図 20 に示す。各エリアの地上基地局が、使用中であることを示す赤色一色になり、すべての基地局が 100% 使用中で、呼損率を示すピンク色の棒グラフも長く、輻輳状態となっていることが分かる。通信中の端末のうち衛星局を使用して通話している端末の割合の青色の棒グラフが少しずつあり、一部分は衛星局があることによって救われていることが分かるが、衛星リソースをシミュレーションエリアに集中させていても衛星局の使用率は 100% となっており、地上基地

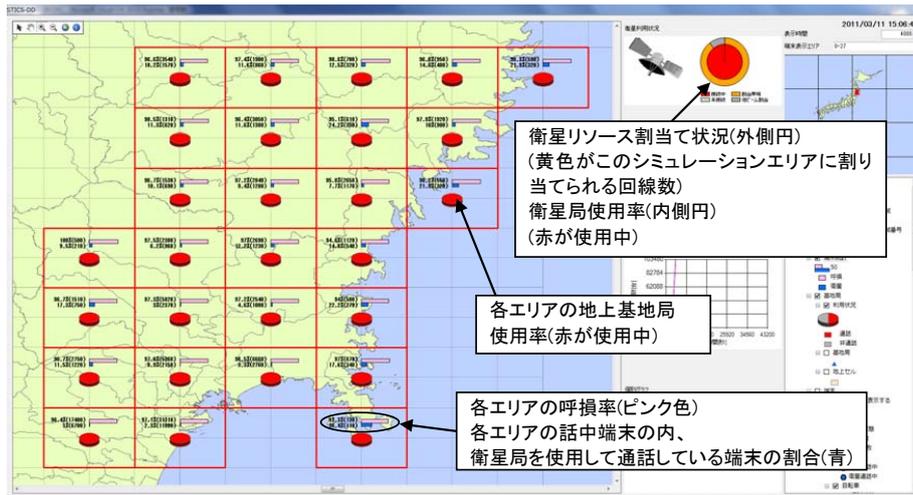


図 20 地震発生後の状況

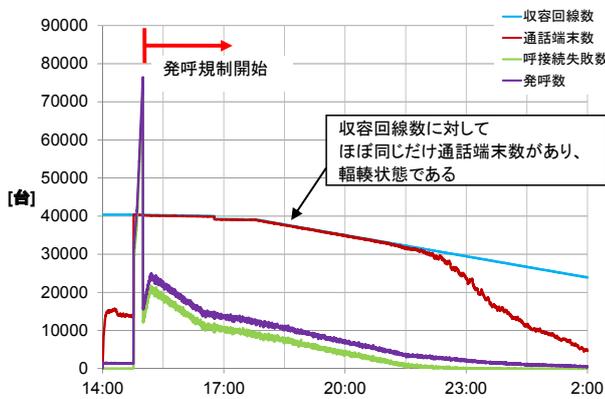


図 21 地上基地局の発呼数、通話端末数等の時間推移

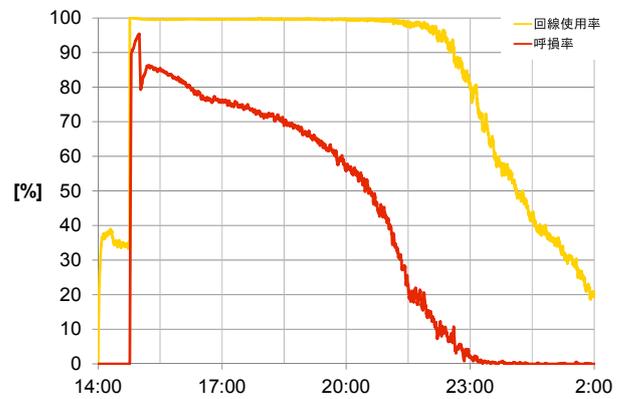


図 22 地上基地局の呼損率、回線使用率の時間推移

局からあふれた呼をすべて救うことはできていないことが分かる。

4.2 から以後、地上基地局から順を追って、シミュレーション結果と考察を述べる。

4.2 地上基地局の状況

地震発生後の発呼数の急増時に、一般端末の発呼の約 80% に発呼規制が掛かったときの地上基地局の発呼数、通話端末数等の時間推移を図 21 に示す。

地上基地局の収容回線数に対する通話端末数は地震発生直後から 21 時までほぼ一致して 99% 以上となり、一般端末に約 80% の発呼規制を掛けた状態においても、地上基地局は輻輳状態が続いていることが分かる。

地上基地局の発呼数に対する接続失敗数(呼損率)の率である呼損率と回線使用率の時間推移を図 22 に示す。一般端末の発呼規制により発呼を制限しているにも関わらず、地震発生後から数時間(14 時 46 分～18 時 30 分)は 70～80% 超が輻輳により呼接続失敗となっている。この接続失敗した端末が衛星へ発呼を行うことになる。基地局停波による収容回線数の

減少は、この数時間にはあまり起こっていない。しかし、翌日の 2 時頃(地震発生から約 11 時間後)には、40,000 台から 24,000 台程度に減少している。発呼数が深夜のため大きく減少しているため、呼接続失敗数は見られない。しかし、地震発生時刻が、もし、6 時間早く午前 8 時頃だった場合、地震発生から 11 時間後は 19 時になるので、発呼数はまだ多く、かつ、収容回線数も少なくなってきたという状態で、輻輳状態はより激しい状態になったと考えられる。

4.3 衛星局の状況

衛星局に対する優先端末の接続失敗数、通信端末数の時間推移を図 23 に示す。図 21 に示す地上基地局で接続失敗となった端末が衛星局に対して発呼を試みる結果、地震発生直後の一般端末の発呼規制が 80% の時においても、10 秒あたり 10,000 超の発呼が衛星局に対して発生する。その結果、衛星リソースダイナミック制御で被災地ビームのリソースを最大値である 2,500 にしたとしても、衛星回線はすぐに埋まってしまい、優先端末の接続失敗も発生することになる。

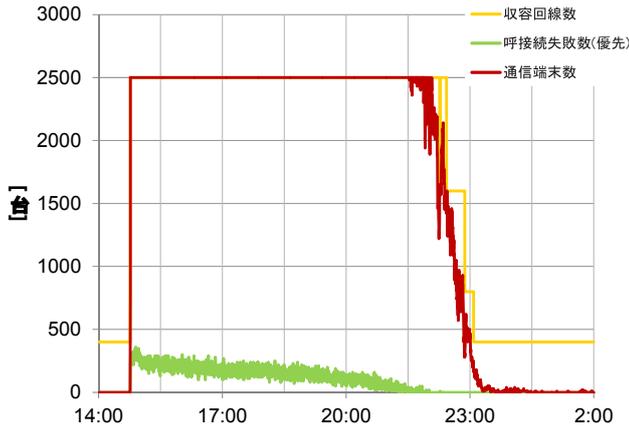


図 23 衛星局における優先端末の呼接続失敗数等の時間推移 (一般端末発呼規制 80%、衛星局において優先呼を区別しない場合)

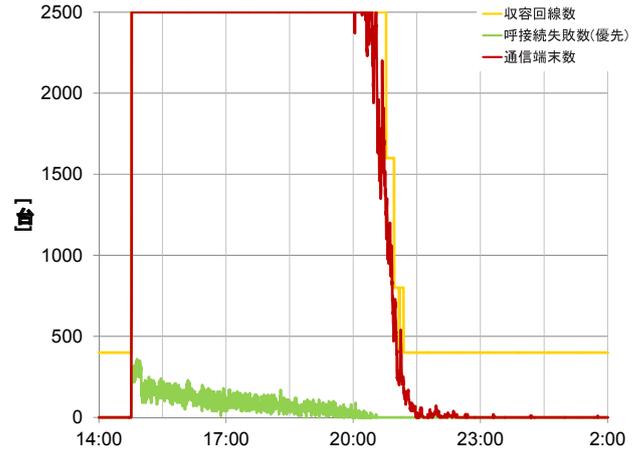


図 25 衛星局における優先端末の呼接続失敗数等の時間推移 (一般端末発呼規制 90%、衛星局において優先呼を区別しない場合)

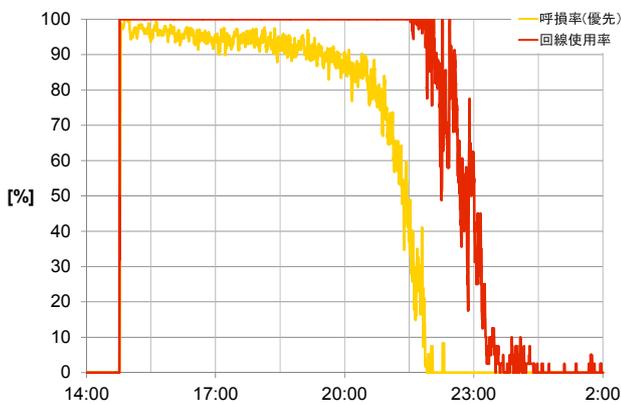


図 24 衛星局における優先端末の呼損率と回線使用率の時間推移 (一般端末発呼規制 80%、衛星局において優先呼を区別しない場合)

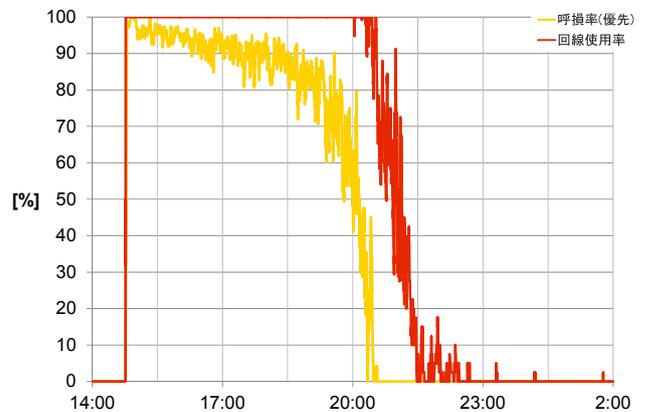


図 26 衛星局における優先端末の呼損率と回線使用率の時間推移 (一般端末発呼規制 90%、衛星局において優先呼を区別しない場合)

衛星局の優先端末の呼損率と回線使用率を図 24 に示す。衛星局の回線使用率は 100% で使い切っているのが分かる。特に、地震発生から 20 時頃までは、優先端末からの呼のうち、90% 超が呼損となっている。災害を防ぐことや生命や財産に関わる重要な優先端末の通信が確保できないのは、問題である。優先端末の発呼を救うためには、発呼規制により一般端末の発呼を更に減らすか、衛星において優先端末からの呼を区別して、一般端末の通話を強制終話させ、優先端末の呼を接続する制御が必要であると考えられる。

一般端末の発呼規制を 90% とした場合の衛星局に対する優先端末の発呼状況及び呼損率を図 25、26 に示す。80% 規制時と状況はほとんど変わっておらず、わずかに呼損率が下がるものの、90% 前後の呼損率であり、90% 程度の発呼規制では優先端末の発呼を救えないことが分かる。

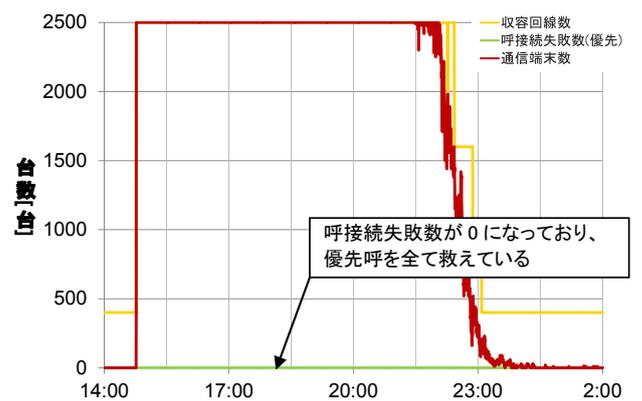


図 27 衛星局における優先端末の呼損発生状況 (一般端末発呼規制 80%、衛星局において優先呼を区別して一般端末を強制終話させる場合)

4.4 一般端末の強制終話の効果と発生状況

一般端末の発呼規制率を 80% とし、衛星局において優先端末からの呼を区別し、衛星回線を使用している一般端末を強制終話させる場合の優先端末の接続失敗と通信端末数等の時間推移を図 27 に示す。地震

2 地上／衛星系協調制御技術

発生から 20 時頃までは、収容回線数と通信端末数は 2,500 と被災地ビームの衛星回線はほぼ 100% 使用されている。問題の優先端末の呼については、接続失敗数は 0 となり、優先端末の呼はすべて通信できていることが分かる。

また、衛星を使用して通信している優先端末数の推移を図 28 に示す。衛星を使用している優先端末が 1,000 台超まで増えているのが分かる。衛星リソースのダイナミック制御を行わない場合には衛星回線は、被災地ビームに 400 回線しかないため、通常ではすべての優先端末を衛星で通信するには回線数が足りない。ダイナミック制御により衛星リソースを集中させ、収容回線数を増やすことにより多くの優先呼を救うことができていることが確認できる。また、22 時を超え、通信端末数が減少してくると衛星の収容回線数が減少しているのが分かる。これは、衛星リソースダイナミック制御が被災地ビームからリソースを減らし、周りのビームへ適宜再分配しているためであると考えられる。

次に、優先呼により一般端末を強制終話させる場合の、一般端末への影響を評価する。衛星局において、優先呼により一般端末を強制終話させた場合の、強制終話台数を図 29 に、優先端末の発呼に対してどれだけの割合で強制終話させているかを図 30 に示す。22 時を過ぎるころから、通信要求が少なくなるため、衛星への優先端末の呼により起こる一般端末の強制終話はなくなるが、一般端末の強制終話が多いことが分かる。衛星への優先端末の呼により起こる一般端末の強制終話は 10 秒あたり 100 回線超となっており、優先呼のうちの 90% 超が一般端末を強制終話することによって回線を確保していることが分かる。

逆にいえば、一般端末の通話を強制終話しなければ、優先端末の呼の 90% 超が通信できない状態であることもいえる。

4.5 実通信端末への呼制御動作

2.3.1 で述べた発呼処理フロー及び優先呼制御処理に従い、実通信端末装置からの発呼に対して、シミュレーションの結果をもとに地上基地局／衛星局の回線使用状況に応じた呼制御動作が行われたことが確認できた。図 31 に、地上基地局に空きがある場合で、地上基地局を経由して接続する様子(赤線が使用している回線を示す。)を、図 32 に、地上基地局が輻輳状態の場合で、衛星局に空きがあり衛星を経由して接続する様子を、図 33 に、実通信端末が通話中に地上基地局エリア外に移動した場合で、衛星局を使用した通話にハンドオーバーを行い回線維持を行う様子を示す。

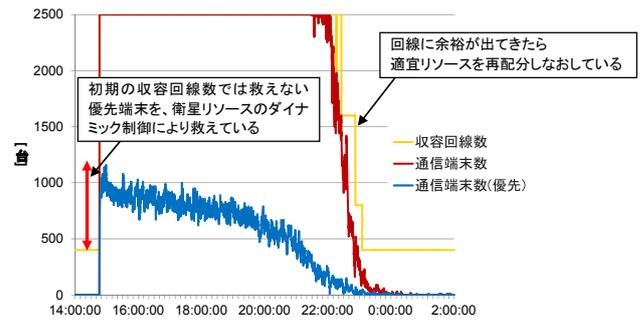


図 28 衛星局における優先端末の通信端末数 (一般端末発呼規制 80%、衛星局において優先呼を区別して一般端末を強制終話させる場合)

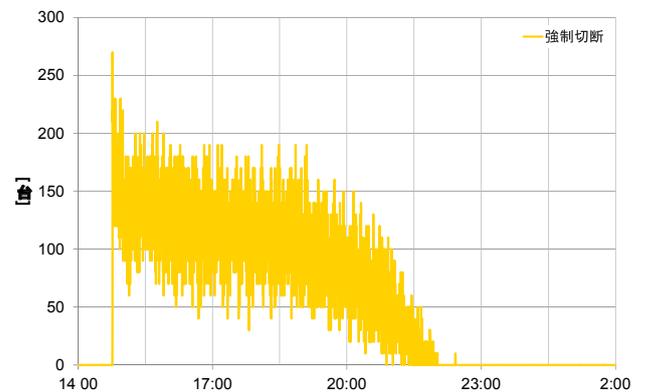


図 29 衛星局において優先呼により一般端末を強制終話させる場合の強制終話台数 (一般端末発呼規制 80%)

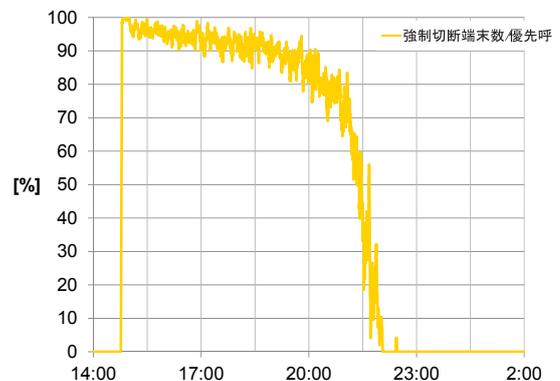


図 30 衛星局において優先呼により一般端末を強制終話させる場合の優先呼に対する強制終話数の割合 (一般端末発呼規制 80%)

5 むすび

本稿では、地上／衛星共用携帯電話システム (STICS) の研究開発プロジェクトのア項の地上システムと衛星システムの協調制御技術の総合評価として、ダイナミックリソース制御、優先呼制御、呼規制制御の協調制御が動作したときの STICS の性能評価を、東日本大震災の実際の通信トラヒックと基地局停波状況をモデル化したシミュレーションにより行った。

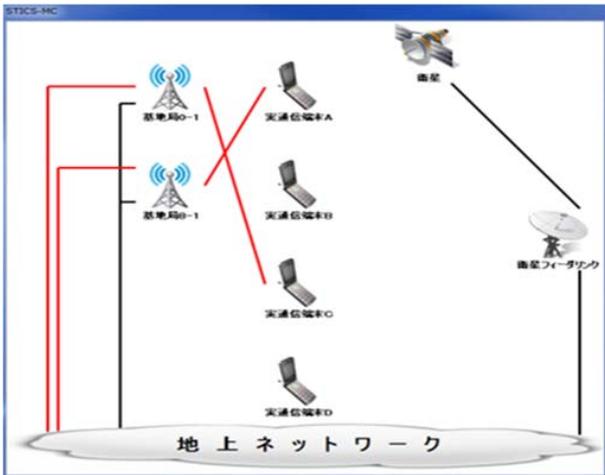


図 31 地上基地局に空きがある場合
(地上基地局を経由して接続する(一般/優先共通))

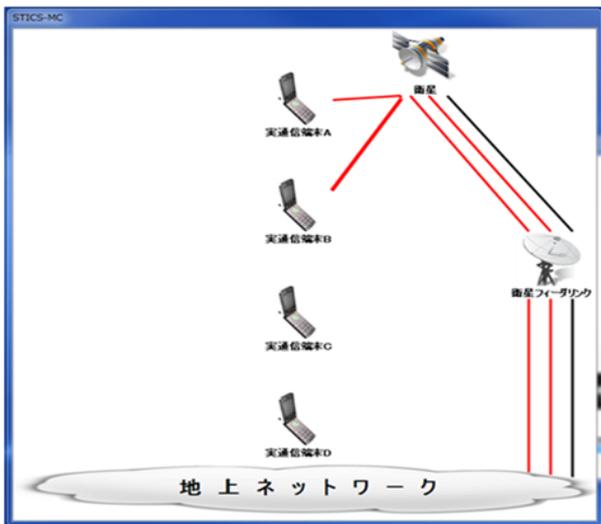


図 32 地上基地局が輻輳状態の場合
(衛星局に空きがあれば衛星を経由して接続する(一般/優先共通))

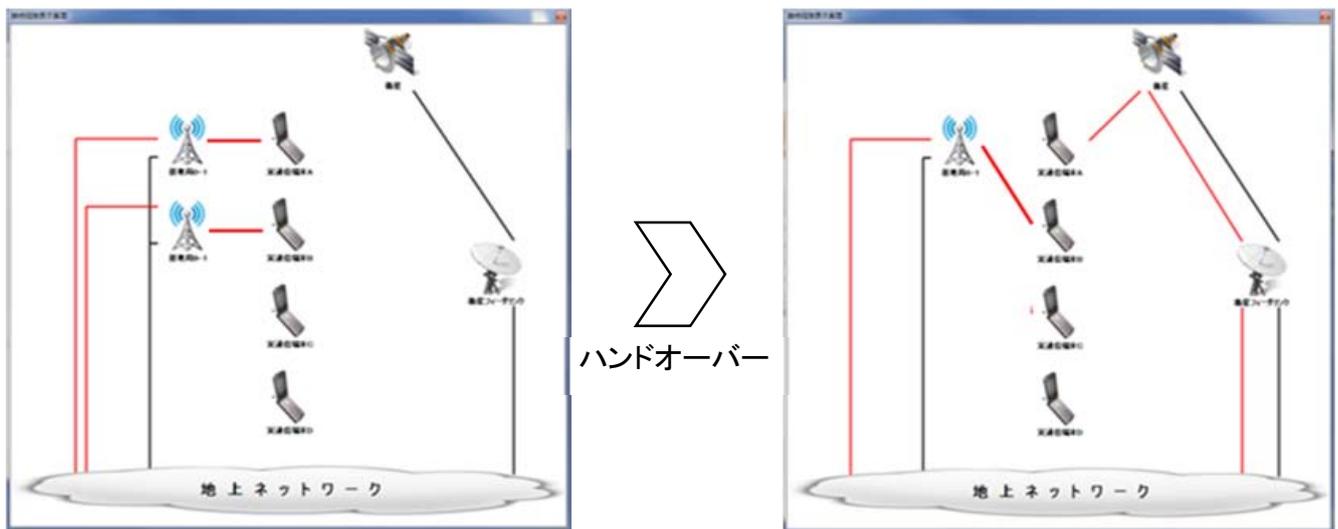


図 33 通話中に地上基地局エリア外に移動した場合
(衛星局を使用した通話にハンドオーバーを行い回線維持(一般/優先共通))

その結果、震災発生時(2011年3月11日14時46分)には地上基地局で80%、90%の発呼規制を掛けても、地震発生後から数時間(14時46分～18時30分)は、安否確認等による膨大な通信需要により輻輳状態で、70～80%超が呼接続失敗となり、この接続失敗した端末が衛星へ発呼を行うことになるため、現段階で想定している衛星局の回線数では、リソースダイナミック制御で被災地ビームの回線数を最大値である2,500にしたとしても、衛星回線はすぐに埋まってしまい、優先端末の接続失敗も発生することになることが明らかとなった。しかし、特に、通信回線を確立すべき優先端末に着目した場合、一般端末の通信を強制終話させることも含めた優先呼制御によって、そのほとんどを収容することができた。優先端末を救うことができるという意味で、STICSは非常に有効であるといえる。また、より多くの優先端末を救えるという点において、衛星リソースダイナミック制御は有効であったと考えられる。

しかし、優先呼の接続失敗をなくすために、一般端末の通信で衛星回線が使い切られているので、一般端末の通信を強制終話させることが必要となった。発呼要求量と規制率の兼ね合いで強制終話を行わずに優先呼を救うことも不可能ではないと考えられるが、これには、パラメータを調整しながら繰り返しシミュレーションを行い適切なパラメータをどのように求め制御するかが実用に向けた重要な課題となる。しかし、例えば、発呼規制率が99%のような極端な状態と、ある程度発呼はできるが強制終話され得る状態のどちらが良いかということは、意見が分かれるところであり、

2 地上／衛星系協調制御技術

本制御に対してはユーザのコンセンサス作りが必要である。

また、そもそも東日本大震災クラスの大规模災害時に、衛星回線がどれだけあれば良いのかといった検討も重要で、衛星回線数を大きく設定し、優先端末の呼損を無くす、一般端末の強制終話を無くす、さらに、一般端末の呼損率をある値までに抑えるなど、それぞれの求める状況のために、必要な回線数を見積もるためのシミュレーションを行うことも有効であると考えられる。必要な回線数が明らかになれば、通話1回線あたりの帯域を狭めることや、ビームフォーミングによって衛星ビームの半径を小さくし、周波数繰り返しにより全体の回線数を増加させる検討に繋がると考えられる。

また、優先端末の通信だけでなく、一般端末からの110番や119番等の緊急通報も重要通信である。災害時にどれだけ緊急通報があるのかの情報があれば、優先端末として配置することで簡易に模擬することもできるが、実際は、優先端末の呼と緊急通報の通話時間の違いがあると考えられるため、シミュレータの改修が必要となる。また、今回、輻輳を軽減するための規制として、発呼規制のみを実装したが、通話時間規制⁶⁾のような別種の規制により輻輳を軽減することも期待でき、この場合のSTICSの性能評価も今後の研究課題として挙げられる。

謝辞

本研究は、総務省の研究委託「地上／衛星共用携帯電話システム技術の研究開発」により実施した。関係各位に感謝する。

【参考文献】

- 1 藁輪正, 田中正人, 浜本直和, 藤野義之, 西永望, 三浦龍, 鈴木健二, “安心・安全のための地上／衛星統合移動通信システム,” 信学論B, Vol.J91-B, No.12, pp.1629-1640, Dec. 2008.
- 2 G. MOTOYOSHI, Y. FUJINO, H. WAKANA, A. MIURA, and N. HAMAMOTO, “Overall Architecture and Traffic Dynamic Control Method in the Satellite / Terrestrial Integrated Mobile Communication System,” 29th AIAA ICSSC-2011, 2011-80, Dec. 2011.
- 3 岡田和則, 藤野義之, 辻宏之, 三浦周, “地上／衛星共用携帯電話システムにおけるシステムアーキテクチャとトラフィック変動に対するダイナミック制御の検討,” 情報通信研究機構研究報告, 本特集号 2-6
- 4 3GPP, “Call Barring (CB) Supplementary Services; Stage 2,” 3GPP TS23.088 version 12.0.0 Release 12, Sept. 2014.
- 5 3GPP, “enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption service (eMLPP); Stage 1,” 3GPP TS TS23.067 version 12.0.0 Release 12, Oct. 2014.
- 6 K. OKADA, “Limiting the holding time in mobile cellular systems during heavy call demand periods in the aftermath of disasters,” IEICE Trans. FUNDAMENTALS, Vol.E85-A, pp.1454-1462, July 2002.



岡田和則 (おかだ かずのり)

ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
博士(工学)
移動通信ネットワーク、非常時通信、宇宙通信システム



藤野義之 (ふじの よしゆき)

東洋大学理工学部電気電子情報工学科教授／元ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
(～2013年4月)
博士(工学)
衛星通信、アンテナ、無線電力伝送



三浦周 (みうら あまね)

ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
博士(情報科学)
衛星通信、アンテナ



辻宏之 (つじ ひろゆき)

ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
博士(工学)
航空機・無人機通信システム、ミリ波帯高速移動体通信



織笠光明 (おりかさ てるあき)

ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室主任研究員
博士(工学)
衛星通信、アンテナ



秋岡眞樹 (あきおか まき)

ワイヤレスネットワーク研究所企画室専門推進員
博士(理学)
太陽地球物理、光学システム、宇宙システム、小型衛星



小宮山典男 (こみやま のりお)

元ワイヤレスネットワーク研究所宇宙通信システム研究室技術員(2009年9月～2013年3月)
衛星通信機器