

移動基地局を利用した災害時情報収集のための 緊急パケット優先手法

小川 紘基^{1,a)} 小原 啓志^{1,b)} 柳田 諒^{1,c)} 重野 寛^{1,d)}

概要：大規模災害時、固定の通信インフラが利用不可能な状況で被災情報を収集するために、移動基地局を利用した緊急時要求応答アプリケーションの研究開発が進められている。しかし、通信トラフィックの増加に伴い、情報収集率が低下する問題がある。そこで本論文では、災害時情報収集のための緊急パケット優先手法を提案する。提案手法では緊急パケット用の送信キューの導入と緊急パケットの待ち時間短縮を行う。まず送信キューに緊急パケットがあれば優先して送信することで、自身の通常パケットに対し緊急パケットの送信を優先する。さらに通常パケットよりも緊急パケットの待ち時間を短くすることにより、周囲のノードの通常パケットに対し緊急パケットの送信を優先する。これら緊急パケットの優先制御により、送信キューの緊急パケット滞留を低減する。シミュレーション評価では、基地局固定シナリオと基地局移動シナリオにおいて提案手法が累積情報収集率を向上させることを確認した。

1. はじめに

近年ブロードバンドネットワークの普及により、特にスマートフォンやタブレットなどの携帯端末からのインターネット利用が急増した [1]。このネットワークは一般家庭の通常時の生活において、さまざまなサービスを提供するために利用されている。また、大規模災害時にもこのネットワークを救命用に利用するサービスも行われた。これは被災地での医療・救助に関する被災情報を収集するためのシステムである。しかし、平成 23 年に発生した東日本大震災とこれに伴う津波はこの通信インフラを断絶させた。このとき既存の移動体通信の非常時利用も導入されたが、救命隊にとって普段使い慣れていない道具の利用習得は一分一秒を争う事態では非常に困難であり、ほとんど利用されなかった。

そこで、T109 を用いた災害対応モードをもつ移動体通信システムの開発が進められている [6][7]。T109 は車間通信及び路車間通信用の通信規格であり、路側の基地局と車両に搭載された移動局によって構成される。これは、通常時には安全運転支援アプリケーションなどに利用することが想定されている。本システムでは、T109 の基地局機能

を救急車などの公用車両に搭載することを想定する。そして、災害時には救急車が移動基地局として動作し被災車両や被災車の持つ端末と通信を行う。ここで利用されるのが緊急時要求応答アプリケーションである。これによって、固定の通信インフラが利用不可能な地域でも、T109 のネットワークを介して、被災現場と災害対応センターとの情報伝達を可能にする。しかし、緊急時要求応答アプリケーションにおいて、トラフィックの増加に伴う通信帯域の圧迫により、送信キューにパケットが滞留し、緊急パケットの送信機会が少なくなる。さらに送信キューがあふれる、もしくはパケット衝突後の再送回数が上限に達すると緊急パケットが破棄される。その結果、緊急パケットの情報収集率が低下する。

これを解決するために、緊急時アプリケーションで扱われる緊急パケットの優先送信と、通常時アプリケーションで扱われる通常パケットの送信抑制が必要であると考えた。そこで、本論文では緊急パケットを優先した災害時情報収集手法を提案する。提案手法では、緊急パケット用の送信キューの追加と、緊急パケットの待ち時間の短縮により、緊急パケットの優先送信と通常パケットの送信抑制を行う。まず緊急パケット用の送信キューを追加する。緊急パケット用の送信キューに緊急パケットが存在する場合、優先して送信することで、自身の通常パケットに対し緊急パケットの送信を優先する。待ち時間の短縮では、CSMA/CA 方式における待ち時間を構成要素である Inter Frame Space(IFS) の設定と Contention Window(CW) の

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University
a) ogawa@mos.ics.keio.ac.jp
b) obara@mos.ics.keio.ac.jp
c) yanagida@mos.ics.keio.ac.jp
d) shigeno@mos.ics.keio.ac.jp

調整によるバックオフ時間の設定による待ち時間の短縮を行う。通常パケットよりも緊急パケットの待ち時間を短くすることにより、周囲のノードの通常パケットに対し緊急パケットの送信を優先する。これら緊急パケットの優先制御により、送信キューにおけるパケット滞留を低減し、緊急パケットの情報収集率を向上させる。

シミュレーション評価では、基地局を固定した場合と基地局を移動した場合のシナリオにおいて、累積の情報収集率を評価する。シミュレーション結果より、提案手法は情報収集率を向上することを示す。以下本論文では、2章で緊急時要求応答アプリケーションの概要とその問題点を述べる。3章で提案手法について述べる。4章で提案手法をシミュレーション評価とその結果について述べる。5章で結論を述べる。

2. 関連研究

本章では、T109 を利用した災害対応モードをもつ移動体通信システムについて説明し、そこで用いられる緊急時要求応答アプリケーションの問題点について述べる。

2.1 災害時の情報収集

近年急速に普及しているブロードバンドを大規模災害時には救命用に利用するサービスが行なわれてきた。具体的には、厚生労働省が行なった広域災害救急医療情報システムである [2]。これは災害時に被災した都道府県を越えて医療機関の稼働状況など災害医療に関わる情報を共有し、被災地域での迅速かつ適切な医療・救護に関わる各種情報を集約・提供することを目的としたシステムである。これにより、災害場所に到着した消防や警察、医師らが要救命者の情報を入力すると、全国の救急科をもつ病院が要救命者を受け入れることができる。

しかし、平成 23 年に発生した東日本大震災とこれに伴う津波は通信インフラを断絶させた。総務省が調査した東日本大震災における情報通信の状況によると、固定通信において、NTT 東日本、KDDI、ソフトバンクテレコム の 3 社合計で約 190 万回線の通信回線が被災、移動通信において、NTT ドコモ、KDDI、ソフトバンクモバイル、イー・モバイル、ウィルコム の 5 社合計で約 2 万 9 千局の基地局が停止した [3]。日本は地震多発国であり、また甚大な津波の経験を多く持つ国である。東日本大震災の経験をもとに、災害に対してより高い耐久性を備えた通信インフラの再整備が実施されている。その一方で絶対に壊れないことを目指すことと、壊れることを想定することの両方が必要である。これは福島第一原子力発電所の事故に裏づけされる [4]。

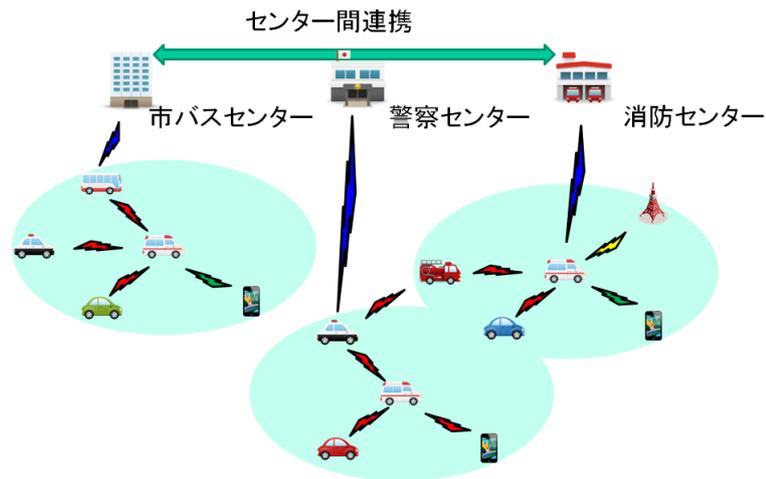


図 1 大規模災害時のユースケース図

2.2 T109 を用いた災害対応モードをもつ移動体通信システム

固定の通信インフラが利用不可になることを想定し、移動体による通信インフラを構築し、災害時には救命活動用に転用する方法の検討が必要である。そこで、T109 を利用した災害対応モードをもつ移動体通信システムの研究開発が進められている [6][7]。T109 は 700MHz 帯を利用した車車間通信と路車間通信のための通信規格である [8]。回り込みに優れた電波特性を持つため、危険な状況の発見遅れが原因で発生する交差点での出会い頭衝突事故や、右折時の対抗直進車との衝突事故など、通常時にはさまざまなアプリケーションに利用されることが想定されている。基本的には路側に設置される基地局と車両に搭載される移動局によって構成されるが、本システムでは救急車等の公用車両に基地局機能を搭載することと、被災者のもつ携帯端末にも移動局機能を搭載することを想定している。そして大規模災害時に、救急車が移動基地局として動作し、救急車を中心にアドホックエリアを形成することによって、被災情報の収集が可能になると考えられている。本システムの災害時のユースケースを図 1 に示す。

ここで、救急車と被災車両間、もしくは救急車と被災者の持つ端末間の通信において、具体的な情報収集のアプリケーションとして考えられているのが、緊急時要求応答アプリケーションである。これを図 2 に示す。このアプリケーションでは、移動基地局である救急車が周囲の移動局に対して、要求パケットをブロードキャストする。それを受信した移動局は救急車に対して応答パケットを返すことで被災情報を収集する。

本システムにおける通常時のアプリケーションで扱われるパケットを通常パケットとし、緊急時のアプリケーションで扱われる要求パケットと応答パケットを緊急パケットとする。

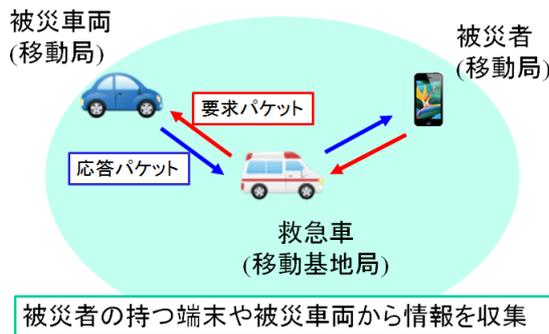


図 2 緊急時要求応答アプリケーション

2.3 T109 を用いた災害時の情報収集における問題点

災害発生直後、ほとんどの公共交通機関は運行停止するため、多くの被災者は車で避難を考える。それにより、交通渋滞のように交通トラフィックが集中する地域が出てくる。このような地域では、通常時のアプリケーションの通信トラフィックが増加する。これに伴う通信帯域の圧迫により、送信キューにパケットが滞留する。その結果、緊急時要求応答アプリケーションにおいて、緊急パケットの送信機会が低下する。さらには、送信キューがあふれる、もしくは CSMA/CA 方式において再送回数の上限に達することにより緊急パケットが破棄されるため、被災情報の収集率が低下するという問題がある。

3. 提案

本論文では、緊急時要求応答アプリケーションにおける緊急パケット優先手法を提案する。緊急パケットの優先制御では、緊急パケット用の送信キューの追加と、Inter Frame Space(IFS) とバックオフ時間の調整による待ち時間の短縮を行う。

3.1 緊急度の導入

T109 の MAC 層において緊急パケットと通常パケットを区別して制御するために、緊急度をパケットヘッダに追加した。通常時のアプリケーションであれば緊急度を 0 とし、災害時のアプリケーションであれば緊急度を 1 とした。

3.2 送信キューの追加

T109 標準規格の送信キューに加えて、緊急パケットのための送信キューを追加する。ヘッダの緊急度を確認し、緊急度 0 であれば通常送信キューへパケットを挿入し、緊急度が 1 であれば緊急送信キューへパケットを挿入する。緊急パケット用の送信キューに緊急パケットがある場合、優先して送信する。パケットの送信順は図 3 のようになる。このように自身の通常パケットに対して、緊急パケットを優先する。

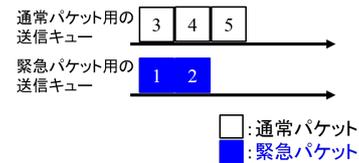


図 3 送信キューにおけるパケットの送信順

3.3 待ち時間の設定

物理的キャリアセンス機能、すなわち CSMA/CA 方式において、パケットの衝突を回避するために、フレーム送信前に待ち時間が設定されている。待ち時間の構成要素は IFS とバックオフ時間である。それぞれにおいて、通常パケットに対して緊急パケットの値を小さくすることで、緊急パケットの待ち時間を短縮する。

3.3.1 IFS

IFS はチャンネルがアイドルかどうか判定するためのフレーム間隔である。T109 標準規格では最短スペースと分散スペースの 2 種類が定義されている。最短スペース時間 S_{min} は $32\mu s$ と定められる。分散スペース時間 S_{dis} は以下の式 1 で定められる。T109 におけるスロットタイム T_{slot} は $16\mu s$ と定められているので分散スペースは、式 1 から $64\mu s$ と求められる。T109 標準規格では、基地局からの送信には最短スペース、移動局からの送信には分散スペースが用いられる。

$$S_{dis} = S_{min} + T_{slot} \times 2 \quad (1)$$

ここで提案手法では、表 1 のように、移動局からの送信において、通常パケットを送信する場合には分散スペース、緊急パケットを送信する場合には最短スペースを設定した。すなわち、緊急パケットには通常パケットの 2 分の 1 の IFS を設定する。このように通常パケットよりも緊急パケットの IFS を短く設定し、待ち時間を短縮した。

表 1 提案手法における IFS の設定

基地局	通常パケット	最短スペース: $32\mu s$
	緊急パケット	
移動局	通常パケット	分散スペース: $64\mu s$
	緊急パケット	最短スペース: $32\mu s$

3.3.2 バックオフ時間

バックオフ時間はランダムな係数 α とスロットタイム T_{slot} の積によって求められる。CSMA/CA 方式において、 α のとりうる値の範囲を決定する CW の初期値は CW_{min} であり、衝突が起こるたびに CW の値を以下の式 2 のように設定し、再送を行う。

$$CW = (CW_{min} + 1) \times 2^m - 1 \quad (2)$$

m は再送回数である。CW を増加させていき CW_{max} になったところで CW は一定となる。すなわち CW_{max} の

値を調整することで待ち時間の最大値を設定することができる。

ここで提案手法では、通常パケットの CW_{max} を 63 とし、緊急パケットの CW_{max} を 1 と設定した。通常パケットの CW_{max} は 63 であるから、再送のたびに CW は増加する。しかし、緊急パケットの CW_{max} は 1 であるから、2 回目以降の再送にはすべて CW の値は 1 となる。よって、緊急パケットは通常パケットに対して最大 63 分の 1 の CW を設定する。このように通常パケットよりも緊急パケットの CW_{max} を小さくすることで、待ち時間を短縮した。

図 4 は通常パケットの待ち時間と緊急パケットの待ち時間の差を表した図である。これら IFS とバックオフ時間の設定により、緊急パケットの待ち時間を短縮した。これにより周囲のノードの通常パケットに対し、緊急パケットの送信を優先する。

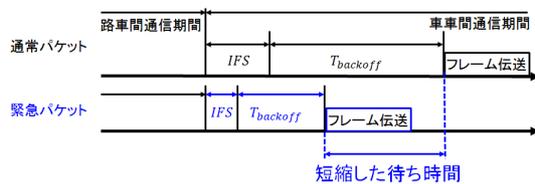


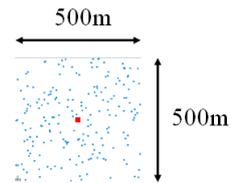
図 4 緊急パケットの待ち時間短縮

4. シミュレーション評価

ネットワークシミュレータ Scenargie 1.7[9] を用い、提案手法を評価する。基地局を固定した場合と基地局を移動した場合でシミュレーションを行う。基地局を固定させた場合のシナリオを図 5 に示す。基地局を固定した場合のシナリオでは、200 台の移動局をランダムに配置し、すべて固定した。基地局はシミュレーション範囲において中心に配置した。移動局を移動させた場合のシナリオを図 6 に示す。800 台の移動局をランダムに配置し、すべて固定した。基地局はシミュレーション範囲の西方の端から東方の端まで移動させた。このとき基地局の速度は $8m/s(28.8km/h)$ とした。基地局は緊急時アプリケーションとして、要求パケットを周期的にブロードキャストする。移動局は緊急時アプリケーションとして、要求パケットを受信すると、応答パケットを基地局に対して送信する。それに加えて移動局は通常時アプリケーションとして、周期的に通常パケットをブロードキャストする。

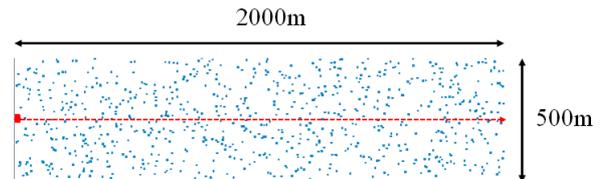
4.1 シミュレーション条件

シミュレーションパラメータを表 2 に示す。トラフィック量を調節するため、基地局固定シナリオでは通常時アプリケーションの送信間隔を 100ms, 70ms と設定し、それぞれの場合においてシミュレーションした。基地局固定シ



- :基地局(固定)
- :移動局(固定)

図 5 基地局固定シナリオ



- :基地局(西から東へ移動)
- :移動局(固定)

図 6 基地局移動シナリオ

ナリオでは送信間隔を 70ms とした。シミュレーション時間は基地局固定シナリオにおいて 60s, 基地局移動シナリオにおいて 250s と設定した。緊急時アプリケーションにおける、要求パケットの送信間隔を 1s とし、応答パケットのジッタを 1s とした。

表 2 シミュレーションパラメータ

ネットワークシミュレータ	Scenargie 1.7
無線周波数帯域	755.5MHz~764.5MHz
伝送速度	12Mbps
送信出力	10dBm(通信範囲:約 430m)
電波伝搬モデル	2 波モデル
要求パケット送信間隔	1s
応答パケットジッタ	1s
パケットサイズ	546byte

4.2 評価指標

評価項目は累積情報収集率とする。アプリケーションの要求条件として、ある移動局における被災情報、すなわち応答パケットは一度受信できればよいので、累積情報収集率を以下の式 3 のように定義する。

$$(\text{累積情報収集率}) = \frac{(\text{応答パケット受信済みノード数})}{(\text{全ノード数})} \quad (3)$$

4.3 比較対象

以下の2つを評価対象とする。

- 提案手法
本論文で提案した緊急パケットの優先制御をしたもの。
- 制御なし
緊急パケットの優先制御をしていないもの。

4.4 シミュレーション結果と考察

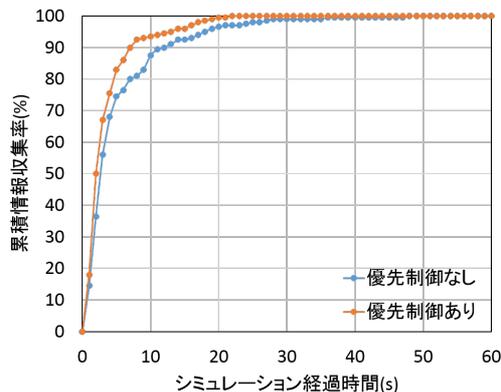


図7 基地局固定シナリオにおける送信間隔 100ms の場合の累積情報収集率

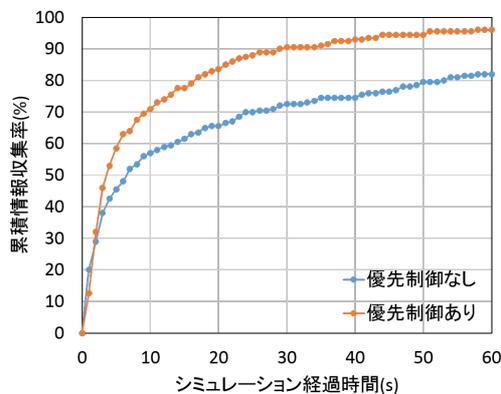


図8 基地局固定シナリオにおける送信間隔 70ms の場合の累積情報収集率

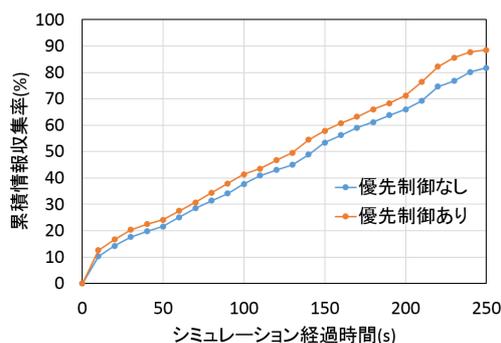


図9 基地局移動シナリオにおける累積情報収集率

基地局固定シナリオの結果を図7, 図9に示す. 通常時のアプリケーションの送信間隔が 100ms の場合において, 優先制御の効果はあまりあらわれなかった. しかし, 送信間隔 70ms の場合において提案手法はシミュレーション終了時でおよそ 15%累積情報収集率を向上することを確認した. これは, 緊急パケットの優先制御により, 送信キューにおける緊急パケット滞留を軽減できたからであると考えられる. また, 優先制御をする場合, 優先制御をしない場合どちらにおいても, シミュレーション時間が経過するにつれてグラフの傾きが小さくなっている. これは, すでに応答パケットを受信済みの移動局も通信を継続しているため, 受信済み移動局の増加にともない収集効率が低下していると考えられる.

基地局移動シナリオでは, 提案手法はシミュレーション終了時でおよそ 7%累積情報収集率を向上することを確認した. 基地局固定シナリオと同様に緊急パケットの優先制御の効果を確認できた. また基地局固定シナリオに対して, グラフの傾きが比較的一定である. これは基地局の移動に伴い基地局の通信範囲に未受信の移動局が入ってくるため, シミュレーション時間にはほぼ比例して累積情報収集率が増加したと考えられる.

5. おわりに

T109 要求応答アプリケーションにおいて, トラフィックの増加に伴う帯域の圧迫により, 情報収集率が低下してしまうという問題がある. この原因として, 送信キューにパケットが滞留し, 緊急パケットの送信機会が少なくなる. さらにキューがあふれる, もしくは最大再送回数に達すると緊急パケットが削除されることが挙げられる. これに対処するために, 緊急時要求応答アプリケーションで扱われる緊急パケットの優先送信と通常時アプリケーションで扱われる通常パケットの送信抑制が必要であると考えた.

そこで本論文では, 緊急パケットを優先した災害時情報収集手法を提案した. 提案手法では, 緊急パケット用の送信キューの導入と緊急パケットの待ち時間の短縮を行う. まず送信キューに緊急パケットがあれば優先して送信することで, 自身の通常パケットに対し緊急パケットの送信を優先する. 次に待ち時間の短縮では, CSMA/CA 方式における待ち時間を構成要素である IFS とバックオフ時間の短縮を行う. 通常パケットよりも緊急パケットの待ち時間を短くすることにより, 周囲のノードの通常パケットに対し緊急パケットの送信を優先する. これらの優先制御により, 通常パケットに対して緊急パケットの送信を優先する.

シミュレーション評価では, 基地局固定シナリオと基地局移動シナリオにおいて累積情報収集率を評価した. シミュレーションの結果, 基地局固定シナリオにおいて通常時アプリケーションの送信間隔 70ms の場合でおよそ 15%累積情報収集率を向上することを確認した. 基地局移動シナリ

オにおいて通常時アプリケーションの送信間隔 70ms の場合でおよそ 7% 累積情報収集率を向上することを確認した。

今後の展望として、応答パケットの ACK を移動局に送信することを考えている。ACK を送信することで、すでに応答パケットを受信済み、すなわち被災情報を収集済みである移動局からの応答パケットの送信を削減できる。通信量を削減することで、緊急パケットの収集効率をさらにあげることができると考えている。

参考文献

- [1] 総務省：平成 25 年通信利用動向調査の結果，入手先 http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/140627_1.pdf (2014).
- [2] 厚生労働省：広域災害救急医療情報システム，入手先 <https://www.wds.emis.go.jp/> (2015).
- [3] 総務省：東日本大震災における情報通信の状況，入手先 <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h23/pdf/n0010000.pdf> (2011).
- [4] 東京電力株式会社：福島第一原子力発電所事故，入手先 <http://www.jaero.or.jp/data/02topic/fukushima/> (2013).
- [5] 小滝 晃：東日本大震災緊急災害対策本部の 90 日：政府の初動・応急対応はいかになされたか，ぎょうせい (2013).
- [6] 福井，良太郎，島津，恵子，重野，寛：大規模災害急性期サーチ・アンド・レスキュー支援システム，情報処理学会研究報告 ITS, Vol. 2014, No. 3, pp.1-6 (2014).
- [7] 福井，良太郎，島津，恵子，重野，寛：大規模災害急性期サーチ・アンド・レスキュー支援システムー主要アプリケーション機能の実験ー，情報処理学会研究報告 ITS, Vol. 2015, No. 1, pp.1-5 (2015).
- [8] 一般社団法人 電波産業会：700MHz 帯高度道路交通システム 標準規格 ARIB STD-T109 1.0 版，入手先 <http://www.arib.or.jp/english/html/overview/doc/1-STD-T109v1.0.pdf> (2012).
- [9] SPACE-TIME-ENGINEERING : Scenarie, 入手先 https://www.spacetime-eng.com/jp/products?page=Products_Top_jp (2015).