

# スマートフォンの通信遅延における ユーザの Awareness と QoE の関係に関する基礎検討

白井丈晴<sup>†1</sup> 藤田真浩<sup>†2</sup> 荒井大輔<sup>†3</sup> 大岸智彦<sup>†3</sup> 西垣正勝<sup>†2</sup>

LTE 網に接続可能なスマートフォン等の端末の急速な普及により、通信の前に端末に無線リソースを割当てるために LTE 網内で発生する制御信号も増加している。制御信号が、設備の容量を超えた場合には、LTE 網全体の通信品質の低下を招く恐れがあり、ユーザの体感品質 (QoE) が低下してしまう。制御信号の輻輳への対策として、キャリアは制御信号流量の最大値に合わせて設備投資を行っている。しかし、イベントで人が集まるというようなイレギュラーな場面での制御信号のピークには対応できていない。これに対し、さらに設備投資を行って通信の劣化を防ぐ方法やユーザに補償金を支払う方法があるが、どちらもコストがかかってしまう。そこで本稿では、ユーザの心理的側面からアプローチすることによって、低コストで「通信遅延によるユーザの QoE の劣化」を緩和する方式の提案・評価を行う。提案方式は、コンシェルジュによってユーザの注意をそらし、ユーザに通信遅延の発生を気付かせない方式となっている。提案方式の有効性を示すために、クラウドソーシングを利用した 400 名規模のユーザ評価実験を行った。

**キーワード:** スマートフォン, 通信遅延, QoE, 認知心理学

## A Study on the Relationship between User Awareness and QoE in Communication Delay on Smartphone

TAKEHARU SHIRAI<sup>†1</sup> MASAHIRO FUJITA<sup>†2</sup> DAISUKE ARAI<sup>†3</sup>  
TOMOHIKO OGISHI<sup>†3</sup> MASAKATSU NISHIGAKI<sup>†2</sup>

On the LTE network, network delay may occur due to signaling spikes. It leads to worsened QoE. In this paper, we propose a new method to mitigate influence of the delay. Our method is to use “a concierge” in order to take attention of users away from the delay. The biggest advantage of our method is it can be realized at lower cost, compared to other methods (e.g. capital investment). To evaluate our method, we conducted comprehensive user experiment using cloud sourcing. The results shows the effectiveness of our method.

**Keywords:** smartphones, communication delay, QoE, cognitive psychology

### 1. はじめに

LTE (Long-Term Evolution) 等の高速なモバイルネットワークに接続可能なスマートフォンの普及が進んでいる (以降、本論文では LTE に接続可能な機器を単に端末と呼ぶ)。端末が LTE 網を介して通信をする際、通信のための無線リソースを端末に割当てる為に、こうした通信そのものとは別に、事前に端末と LTE 網間、並びに LTE 網内で制御信号が複数発生する。端末が LTE 網に接続する毎に発生する制御信号は、スマートフォンの急速な普及により増加しており、LTE 網の設計容量を超える制御信号が瞬間的にも発生した場合には、LTE 網の品質劣化が発生することから、通信キャリアにとって大きな課題となっている [1]。さらに、スマートフォンで実行されるアプリケーションの中には、更新確認やメッセージの到達確認のためにユーザの操作とは関係なく定期的に通信するものが存在し、この通信タイ

ミングが多数の端末間で同期する場合がある。同期した場合、多数の端末が同時刻にネットワーク接続することとなり、その瞬間、LTE 網には大量の制御信号が発生する。こうした瞬間的な制御信号の発生は「制御信号スパイク」と呼ばれ、LTE 網全体に悪影響を与える深刻な問題として知られている [2][3]。

こうした制御信号スパイクが発生しないように、キャリアは平素の制御信号流量の最大値に合わせて設備投資を行っているが、人が集まるイベントの開催のようなイレギュラーな場面には対応しきれない。実際にこのような事態は多く発生している [4]。このような事態に対し、さらに設備投資を行って通信の劣化を防ぐ方法やユーザに補償金を支払い通信の劣化を許容してもらう方法があるが、どちらも更にコストがかかることになる。そこで本稿では、通信品質がユーザの体感品質 (QoE, Quality of Experience) に大きく左右されることに鑑み、ユーザの心理的側面からこ

<sup>†1</sup> 静岡大学大学院総合科学技術研究科  
Graduate School of Integrated Science and Technology, Shizuoka University

<sup>†2</sup> 静岡大学創造科学技術大学院  
Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University

<sup>†3</sup> (株)KDDI 研究所  
KDDI R&D Laboratories

の課題にアプローチし、低コストで「通信遅延によるユーザの QoE の劣化」を緩和する方式の提案・評価を行う。提案方式は、コンシェルジュによってユーザの注意をそらし、ユーザに通信遅延の発生を気付かせない方式となっている。提案方式の有効性を示すために、クラウドソーシングを利用した 400 名規模のユーザ評価実験を行った。

以降、2 章で関連研究について述べ、3 章で提案方式について説明する。4 章で実験方法を説明し、5 章で実験結果について詳述する。6 章で本論文をまとめる。

## 2. 関連研究

### 2.1 遅延がユーザに与える影響

通信遅延がユーザに与える影響について調査した先行研究について紹介する。

SmartBear 社によって行われた調査[5]では、Web サイトにおけるユーザの待ち時間の許容範囲として、3 秒が 1 つの目安になっていることが報告されている。Web ページが 3 秒以内に表示されなければ 57%のユーザがそのサイトを閲覧することを諦めてしまい、待ち時間が 1 秒増加するごとに閲覧数は 11%、ユーザの満足度は 16%減少するという結果も報告されている。モバイルサイトの場合、この傾向はさらに顕著になっており、ユーザの 60%が 3 秒以内に表示されることを期待していて、5 秒以内に表示されなければ 74%のユーザが別のサイトに移ってしまうという結果が報告されている。この調査結果から、通信遅延がユーザの満足度に対して多大な影響を及ぼすことがわかる。

情報セキュリティ技術に対するユーザの安心感の構造についての調査[6]では、オンラインショッピングにおけるユーザ（情報セキュリティ技術の知識のないユーザ）の安心感について調査している。調査結果として、「善意の認知」、「能力や誠実さの認知」、「ユーザの心象」、「第三者の企業に対する評判情報の認知」が安心感の要因として挙げられている。この内、「能力や誠実さの認知」の要因は、ユーザが主観的に「オンラインショッピングサイトが信頼に足る能力と誠実さを持っている」と判断している場合に、そのユーザはオンラインショッピングに安心感を抱く傾向にあることを示している。通信遅延により Web の応答時間が伸びてしまい、ユーザに「このオンラインショッピングサイトは設備投資が不十分である（能力と誠実さの欠如）」と判断されてしまうと、ユーザの安心感を損ねてしまう可能性があるといえる。

### 3. 遅延による QoE 低下を緩和する方式の提案

通信遅延はユーザの QoE に多大な悪影響を与えることが予想されるため、通信遅延による QoE の低下を緩和する方法を模索することは重要である。本章では、既存方式として、通信遅延を被ったユーザに補償金を支払う方式（以降、補償金方式）を紹介する。そして、提案方式として、



図 1 提案方式に利用したイラスト

通信遅延に気づかせない方式を提案する。

### 3.1 補償金方式

通信遅延による QoE の低下を緩和する方式として、補償金を支払う方法がある。過去に実際に通信障害が起こった際に、この方法が実施されたことがあり[7]、その際には、通信料金の請求額から 700 円の減算が行われた。著者らも、以前に、報奨金がユーザにとって「通信遅延を許容するにあたってのインセンティブ」となり得ることを、評価実験を通じて確認している[8]。補償金方式は、通信遅延による QoE の低下を防ぐものではなく、通信遅延によって低下したユーザの QoE を補償金によって埋め合わせてもらうアプローチである。当然のことながら、この方法には、補償金を支払うコストがかかるという問題がある。

### 3.2 提案方式

本稿では、通信遅延による QoE 劣化の問題に対し、ユーザの心理的側面からアプローチする。具体的な方法としては種々考えられるが、今回は、通信遅延発生中に「ユーザが注目してしまうような文章」を端末画面に表示することで、ユーザの注意を通信遅延からそらす方法を採用する。通信遅延から注意をそらすことによって、ユーザは通信遅延があったこと自体に気づかなくなるため、QoE の低下をより軽減することが可能であると期待される。この方式は、文章を表示するだけなので、低コストで実現可能である。

提案方式は、文章を読んでもらうことによって、通信遅延から意識をそらす方式であるため、ユーザに文章を読んでもらう必要がある。本研究では、コンシェルジュのようなイラストを利用して、そのコンシェルジュがユーザに話しかけるようなインターフェースを作成した。イラストの利用が、文章を読みたいと思う動機づけをユーザに与えることが知られている[9]ため、ユーザが自然に文章を読む可能性が上がると期待できる。

図 1 に本研究で利用したコンシェルジュのイラストを示す。イラストについては、事前調査を通じて著者らで検討をして決定した。また、コンシェルジュがしゃべる文章については、雑学（例「日本における『猫の日』は、2 月 22 日になっています。1987 年に制定されました。」）を利用した。

## 4. 実験方法

### 4.1 実験目的

本実験で、提案方式の有効性（通信遅延によるユーザのQoEの低下を緩和できるか）を検証する。また、既存方式である補償金方式との比較評価を行う。

### 4.2 実験条件

#### 4.2.1 実験概要

本実験では、実験目的達成のために、以下の4つの被験者群を用意した。

- 遅延なし、かつ、適用方式なし（以降、遅延なし群）
- 遅延あり、かつ、適用方式なし（以降、方式なし群）
- 遅延あり、かつ、補償金方式を適用（以降、補償金群）
- 遅延あり、かつ、提案方式を適用（以降、提案方式群）

各被験者群では、通信遅延が生じた際の振る舞いが異なる。提案方式群は、通信遅延中にコンシェルジュが現れ、文章が表示される。補償金群は、通信遅延中には何も表示されないが、遅延が経過した後に、お詫びの一文と遅延に対する補償金額が表示される。遅延なし群と方式なし群は、それぞれ統制群であり、特別な表示はない。実験用Webページを作成し、全被験者に閲覧を依頼する。当該Webページ内でのページ切り替えの部分に遅延を加えることで、通信遅延の発生を再現し、これによって被験者のQoE評価を行った。

評価指標として、通信の満足度を7段階評価（とても不満・不満・やや不満・普通と変わらない・やや満足・満足・とても満足）で被験者に評価してもらった。ここで、各被験者群では満足度の理由が異なってくると考えられる。満足度についてより詳細な分析を行うために、多面的感情状態尺度・短縮版[10]を利用した。今回の実験では、通信遅延に関係がありそうな感情として、「敵意」、「倦怠」、「活動的快」、「集中」の4因子を用い、遅延経験後の感情について4段階評価（全く感じていない、あまり感じていない、少し感じている、はっきり感じている）で答えてもらった。

各方式での経験がQoE評価のバイアスとならないように被験者間実験（遅延なし群、方式なし群、補償金群、提案方式群の2つ以上の被験者を兼ねる者はいない）を行った。また、過去の通信遅延の経験がQoE評価のバイアスとならないように、各被験者の実験中に発生する通信遅延の回数は1回のみ（Webページ閲覧中に通信遅延が1回発生する）とした。

#### 4.2.2 被験者

被験者はクラウドソーシングサービスであるランサーズ[11]を通じて、各群100名ずつ集めた。本実験は、計400名の大規模実験である。著者ら（実験実施者）が作成した実験用Webページに遷移し、Webページを閲覧してもらうというタスクを依頼した。実験用Webページの最後まで到

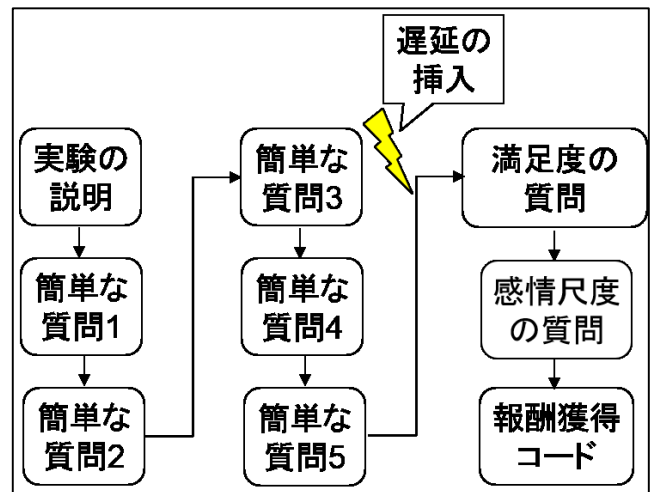


図 2 実験用 Web ページフロー図

達すると報酬獲得コードが表示されるので、これをランサーズの画面に入力した時点でタスク完了となる。各被験者には、タスクを完了してもらうことで80円を、補償金方式には遅延の補償金として追加で20円を報酬として支払った。なお、今回のタスクが学術目的での依頼であることを伝えたくて、タスクを依頼した。

### 4.3 実験用 Web ページ

#### 4.3.1 概要

実験に用いるWebページをHTMLとJavaScript、PHPを用いて作成した。今回の実験用Webページは全9ページで構成されており、図2に示されたフローでページが遷移する。まず、実験ページの説明を行い、その後5つの簡単な質問を行うアンケートページが続く。被験者が5問目の質問に回答した時点で、次ページに遷移する際に10秒間の遅延が加わるようになっている。その後、被験者が通信の満足度（とその理由）および感情状態尺度の質問に答えると、報酬獲得コードが表示され終了となる。報酬獲得コードは、被験者毎にランダムで生成される10桁の乱数である。

#### 4.3.2 簡単な質問

今回の実験用Webページでは、以下の5問を「簡単な質問」として出題する。ただし、紙面スペースの都合上、各質問は要約している。

- ① 年代（10代以下・20代・30代・40代・50代・60代以上）
- ② 性別（男性・女性）
- ③ 普段のスマートフォンの利用において、通信速度に満足しているか（満足していない・あまり満足していない・どちらでもない・まあまあ満足している・満足している）
- ④ スマートフォンでYoutube等の動画視聴サイトを見るとき、動画が途切れることがどの程度あるか（ほとんどない・あまりない・たまにある・まあまあある・か

表 1 分析に用いた被験者数

		nd群	方式なし群	補償金群	コンシエルジュ群
全被験者		83	96	95	96
性別	男性	36	41	36	41
	女性	47	55	59	55
普段の通信満足度	満足	55	60	58	64
	不満足	21	26	23	23
Youtubeの途切れ	ない	26	28	32	32
	ある	54	63	56	57
ネットの知識	1~3	22	39	28	33
	5~7	25	21	31	15

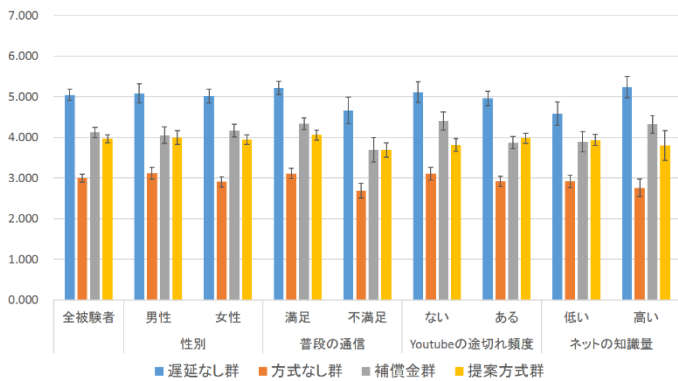


図 3 満足度の平均と標準誤差

なりある・スマートフォンで動画視聴サイトは見ない)

- ⑤ あなたのインターネットに関する知識レベルはどの程度か (1・2・3・4・5・6・7)

質問①,②において被験者の基本的な情報を、質問③~⑤においてに被験者のスマートフォン利用に関する情報を質問している。質問④は、各被験者の平素の通信速度を知るための質問である。これらの質問の回答を用いて、詳細な分析を行っていく。なお、質問⑤は、数字が大きいほど知識があるという回答となる。

### 4.3.3 挿入する遅延

今回の実験で挿入する遅延は 10 秒とした。これは、文献 [5] の調査結果を考慮すると、ユーザが「十分に嫌だ」と感じる秒数であるといえる。なお、被験者毎の通信回線速度による影響を排除するために、実験用 Web ページは、実際にはインターネット上の Web ページの遷移は行わずに、実験開始時に全ページのデータを端末に一括してダウンロードさせた上でページの表示のみを切り替える仕組みになっている。被験者にはインターネット上で Web ページの遷移を行なっているかのように思わせたいので、10 秒の遅延を挿入するところ以外のページ切り替えにおいては、わざと 0.4 秒の遅延を挿入している。

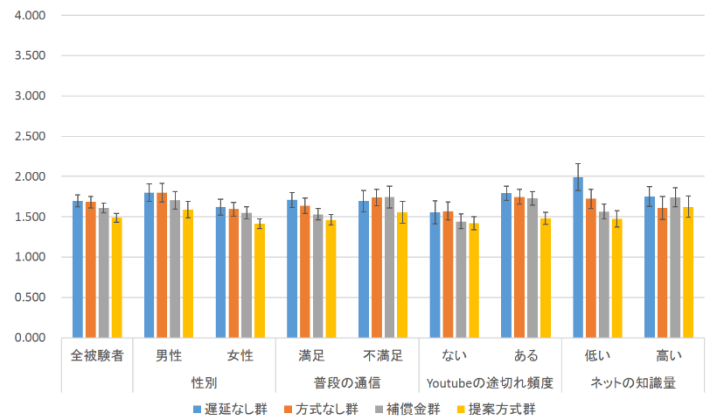


図 4 敵意の平均と標準誤差

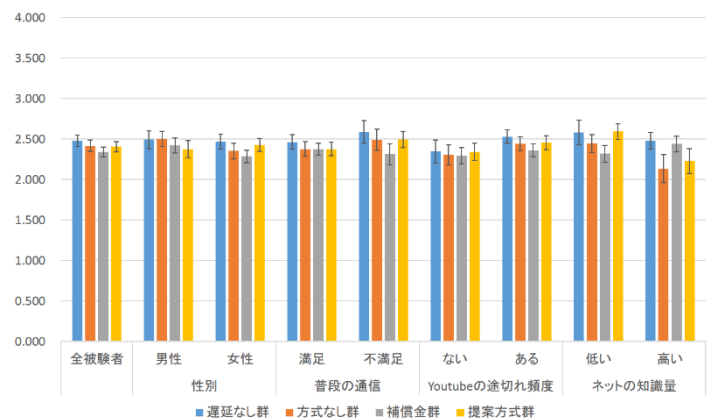


図 5 倦怠の平均と標準誤差

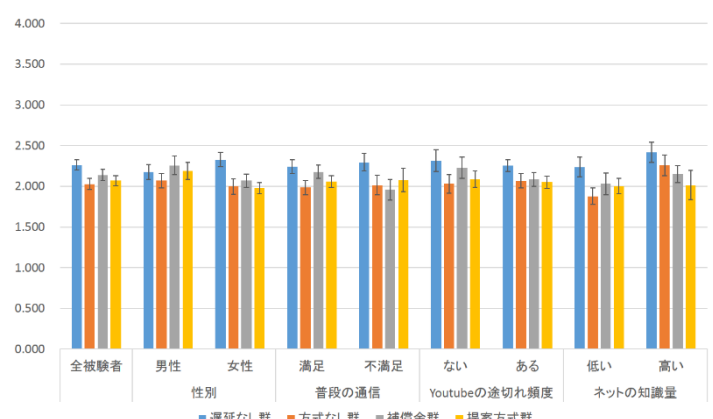


図 6 活動的快の平均と標準誤差

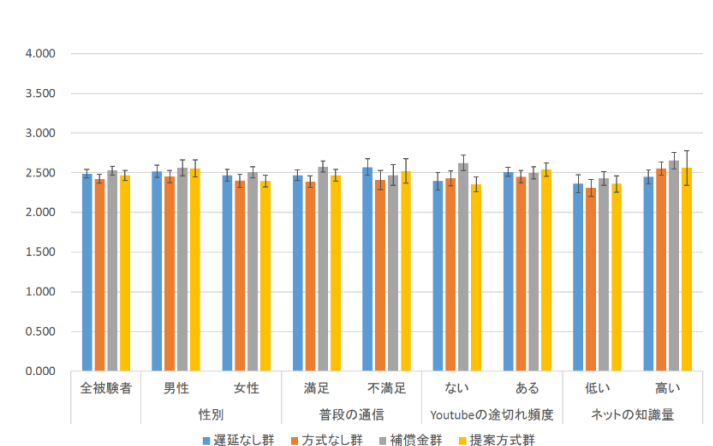


図 7 集中の平均と標準誤差

表 2 分析結果 (満足度, 全被験者)

方式	平均値	標準誤差	分散分析		多重比較によるp値		
			F値	p値	vs②	vs③	vs④
①遅延なし群	5.048	0.1403885	F(3,366)= 51.278	0.000****	s.	s.	s.
②方式なし群	3.000	0.095428			-	s.	s.
③補償金群	4.126	0.1256823			-	-	n.s.
④提案方式群	3.969	0.097061			-	-	-

\*\*\*\*p<0.001

## 5. 実験結果と考察

### 5.1 質問の分類方法

今回の分析は、全被験者での分析と質問の回答によって被験者を属性別に分類した分析を行う。質問の分類方法は以下のように行った。各番号は、4.3.2節の質問番号と対応している。ただし、年代については、偶然にも400名の被験者が30代に集中してしまったため、分類の属性としては除外した。

- ② 性別：「男性」「女性」
- ③ 普段の通信満足度：「満足（満足している，まあまあ満足している）」「不満足（満足していない，あまり満足していない）」
- ④ Youtubeの途切れ頻度：「ない（ほとんどない，あまりない）」「ある（かなりある，まあまあある，たまにある）」
- ⑤ ネットの知識量：「低い（1～3）」「高い（5～7）」

質問③における「どちらでもない」、質問⑤における「4」の回答は中間値のため、質問④における「スマートフォンで動画視聴サイトは見ない」の回答はN/A（利用不能）のため、分類の際に省いている。

### 5.2 被験者の選別

実験結果の分析の前に、満足度の理由を確認して、被験者の選別を行った。以下の3つの基準で選別を行った。また、表1に選別後の各被験者数を示す。

- 実験中の通信の満足度ではなく、平素の通信の満足度を答えていると考えられる被験者
- 実験とは関係のない別の要因が満足度に関わっていると考えられる被験者
- 満足度と理由に矛盾がある被験者

### 5.3 各値の平均と標準誤差

今回の実験では満足度を、{とても不満，不満，やや不満，普段と変わらない，やや満足，満足，とても満足} = {1,2,3,4,5,6,7} というように数値化して分析の準備を行った。また、多面的感情状態尺度については、被験者毎に各因子の平均を算出した。図3に満足度の平均と標準誤差を示す。図4～7に各感情因子の平均と標準誤差を示す。

### 5.4 方式の有効性

各被験者群の満足度の平均の差を検定するために、分散

分析を行った。方式の有効性を示すために、全被験者のデータを利用して、被験者群1要因での分散分析と下位検定（Ryanの多重比較）を行った。分散分析と下位検定にはANOVA4 on the Web[12]を用いた。各統計処理において、有意水準は5%とした。

結果を表2に示す。結果として、補償金群と提案方式群以外に有意差が確認された。これより、補償金方式と提案方式は、通信遅延による影響を緩和する効果があるということが検証された。補償金群と提案方式群の間には有意差が確認できなかったことから、提案方式の「通信遅延によるユーザのQoEの低下」を緩和する効果は補償金を渡すことと同程度（金額換算すると20円程の効果）があるということが示唆された。

多面的感情状態尺度については、有意な差は出なかったため、今後の課題としていきたい。

## 6. まとめと今後の課題

本稿では、ユーザの心理的側面に鑑み、低コストで「通信遅延によるユーザのQoE（体感品質）の低下」を緩和する方式の提案・評価を行った。提案方式は、通信遅延中に文章とイラストを表示し、ユーザの注意をそらすことによって、通信遅延をユーザに気付かせない方法となっている。400名規模の実験を通じ、提案方式が通信遅延によるQoE低下を緩和できていることを確認した。

今後の課題としては、通信遅延秒数や遅延頻度を変更しての評価実験が挙げられる。また、今回の提案方式以外にも、ユーザの心理的側面を利用して通信遅延によるQoE低下を緩和する方式が存在するものと思われる。その具体的な方法について模索していく。

## 謝辞

提案方式で利用した画像は、GATAG (<http://free-illustrations.gatag.net/>) で公開されているフリー素材です。また、実験結果の分析にあたって、静岡大学 漁田武雄氏、荒木由布子氏に大変多くのご助言を頂きました。この場を借りて御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Yongmin Choi, Cha-hyun Yoon, Youg-sik Kim, Seo Weon Heo and John A. Silvestor, "The Impact of Application Signaling Traffic on Public Land Mobile Networks," IEEE

- Communications Magazine, pp.166-172, January 2014.
- [2] Maruti Gupta, Satish C. Jha, Ali T. Koc and Rath Vannithamby, "Energy Impact of Emerging Mobile Internet Applications on LTE Networks: Issues and Solutions," IEEE Communications Magazine, pp.90-97, February 2013.
- [3] Crolin Gabriel, "DoCoMo demands Google's help with signalling storm," Rethink Wireless, January 2012. <http://www.rethink-wireless.com/2012/01/30/docomo-demands-googles-signalling-storm.htm>,
- [4] 電気通信サービスの事故発生状況 (平成 24 年度), 入手先 ([http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000246841.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000246841.pdf)) (参照 2016/03/28)
- [5] The Cost of Poor Web Performance [INFOGRAPHIC], 入手先 (<http://blog.smartbear.com/web-performance/the-cost-of-poor-web-performance-infographic/>) (参照 2016/03/28)
- [6] 西岡大, 齊藤義仰, 村山優子: オンラインショッピングにおける情報セキュリティ技術に対する知識のないユーザの安心感の構造, コンピュータセキュリティシンポジウム 2012 論文集, 2012(3), 555-562.
- [7] 一連の LTE 通信障害の原因と対策について, 入手先 ([http://www.kddi.com/corporate/news\\_release/2013/0610a/pdf/sanko.pdf](http://www.kddi.com/corporate/news_release/2013/0610a/pdf/sanko.pdf)) (参照 2016/03/28)
- [8] 白井丈晴, 小林真也, 鈴木富明, 藤田真浩, 荒井大輔, 大岸智彦, 峰野博史, 西垣正勝: 端末による LTE 制御信号スパイク制御方式におけるインセンティブと QoE の関係に関する基礎検討, 情報処理学会研究報告, 2015-CSEC-68-34, pp.1-8 (2015.3).
- [9] 島田英昭, 北島宗雄: 挿絵がマニュアルの理解を促進する認知プロセス-動機づけ効果と精緻化効果-, 日本教育心理学研究 Vol. 56(2008), p.474-486.
- [10] 寺崎正治, 古賀愛人, 岸本陽一: 多面的感情状態尺度・短縮版の作成, 日本心理学会第 55 回大会発表論文集, 435, 350-356(1991).
- [11] Lancers, 入手先 (<http://www.lancers.jp/>) (参照 2016/03/28)
- [12] ANOVA4 on the Web, 入手先 (<http://www.hju.ac.jp/~kiriki/anova4/>) (参照 2016/03/28)