

端末間協調による電力融通およびバッテリープールコンセプトに 対する社会的受容性の評価

服部聖彦¹ 天間克宏²

概要: スマートフォン端末の消費電力において、WAN 通信(LTE, 5G)の占める割合は大きく、端末の稼働時間、バッテリーサイズを決定する上で大きな制約になっている。この課題に対し我々は、隣接する端末間でテザリングネットワークを自律分散的に構築、連携させることで通信の省電力化を実現するソフトウェアによるフレームを提案し、実端末を用いて評価を行ってきた。このフレームワークでは(1)バッテリーに余裕がありかつ(2)基地局からの電波伝搬特性(RSRP)がよい端末が proxy となって他の端末を Wi-Fi テザリングを用いて収容、端末群全体で省電力化を行うものである。このフレームワークは時間平均で見ることによって全ての端末の稼働時間が延びることが予測され、あたかも仮想的な共有バッテリーを使った相互互助とみなすことができ、我々はこれをバッテリープールコンセプトと呼んでいる。このシステムにおける課題の一つとして proxy 端末は複数台の端末の収容するため、ユーザーから見ると公平性やセキュリティの懸念が考えられる。この課題に対し本研究では、被験者アンケートを通して、我々が提案するバッテリータンクコンセプトの受容性や課題を明らかにした。

キーワード: バッテリータンクコンセプト、被験者アンケート、端末間連携、省電力通信

Evaluation of social acceptability of the concept of power sharing and battery pooling through terminal-to-terminal cooperation

KIYOHICO HATTORI^{†1} KATSUHIRO TEMMA^{†2}

Abstract: WAN communication (LTE, 5G) accounts for a large percentage of the power consumption of smartphone devices, which is a major constraint in determining device uptime and battery size. To address this issue, we have proposed a software framework that achieves power saving by building and coordinating tethering networks among neighboring terminals in an autonomous and distributed manner. In this framework, a terminal that (1) has enough battery power and (2) has good radio wave propagation characteristics (RSRP) from the base station acts as a proxy and accommodates other terminals using Wi-Fi tethering, thus saving power for the entire group of terminals. This framework can be regarded as a mutual aid using a virtual shared battery, which we call the battery pool concept. We call this the battery pool concept. One of the challenges in this system is that the proxy terminal accommodates multiple terminals, which raises concerns about fairness and security from the user's point of view. In this study, we clarified the acceptability and issues of our battery tank concept through a questionnaire survey.

Keywords: Battery Tank Concept, Subject Questionnaire, Terminal Cooperation, Power-Saving Communication

1. はじめに

近年 5G をはじめとする高速 WAN の普及に伴い、端末の WAN 通信に要する電力消費が増加、通信の省電力化が重要になっている。しかしながら従来のアプローチで高速通信と省電力化の双方を両立させることは容易ではない。この課題に対し我々は、位置的に近いスマートフォン端末群を協調制御させ、端末群全体から見た通信電力効率の向上を目指すアプローチである端末間協調・省電力フレームワークを提案[1]をしてきた。その結果、このフレームワークでは省電力効果があることに加え、時間平均で見ることによって全ての端末の稼働時間が延びることが予測された。これは、あたかも仮想的な共有バッテリーを使って相互互助を実現

することから、我々はこれをバッテリープールコンセプトと呼んでいる。このコンセプトの懸念の一つとして、フレームワークにおける proxy 端末は不特定の端末の収容や WAN を用いて代理通信を行うため、セキュリティや公平性の懸念が考えられる。

この課題に対し本論文では、提案した端末間協調・省電力フレームワークが一般のユーザーからどのように感じられるか、そして普及させる上での課題を明らかにするため、被験者アンケートを実施した。

2. 端末間協調省電力フレームワークの概要

提案しているフレームワークによって構築される端末間協調ネットワークの概要を図 1 に示す。各端末は、基地局との WAN 通信機能、端末間で協調制御を行うための Bluetooth Low Energy(BLE)および回線共有無線 LAN に加え、あらかじめ端末協調制御ソフトを保持しているものとする。

¹ 東京工科大学
Tokyo University of Technology
² 情報通信研究機構
National Institute of Information and Communications Technology

フレームワークに従って協調通信を行う場合、最初に各端末は自身の通信状況、バッテリーなどの情報を BLE のビーコンを用いて近隣端末に配信、協調通信制御のための情報を交換する。次に各端末は近隣端末から受信した情報と自身の情報を各単端末のローカルメモリ上にデータベース(DB)を構築する。この DB の情報をもとに提案するアルゴリズムを用いて端末群全体から適切と考えられる代理(proxy)端末を選択、決定する。proxy として選定された端末は基地局を介して WAN に接続すると同時に自身の無線 LAN の基地局機能(テザリング)を起動する。一方、proxy 端末に選択されなかった他の端末は、自身の無線 LAN のクライアント機能を用いて proxy 端末に接続、proxy 端末経由で WAN にアクセスする。proxy 選定は定期的に行われ、現在 proxy になっている端末のバッテリー残量が低下、もしくは移動等により基地局との電波伝搬特性(RSRP)が劣化し、proxy 端末として適切ではなくなった場合には proxy 端末の自動・動的切り替えが行われる。proxy 端末の選定は式(1)から求められる評価値 Z の値が最も大きい端末が最適な proxy 端末として選択される。ここで式(1)における $E_{remaining}$, E_{max} はそれぞれ端末のバッテリー残量(mAh), バッテリー容量(mAh)を表す。

$$Z = \left[\frac{E_{remaining}}{E_{max}} + \left\{ 2 + \frac{P_{rx}}{60} \right\} \right] \times 100 \quad (1)$$



図 1 端末間協調省電力フレームワークのコンセプト
 Figure 1 Concept of a terminal-to-terminal cooperative power saving framework.

3. アンケートを用いた被験者実験

ここでは、先に挙げた端末間協調省電力フレームワークや相互互助の仕組みであるバッテリープールコンセプトに対する社会的受容性を評価するためのアンケートについて説明する。

3.1 調査対象者属性

本アンケート調査の調査対象者として、インターネット調査会社の調査パネルから抽出した 54 名と情報系学生及び IT 関連企業に勤める社会人 19 名の総計 73 名が参加をした。調査対象者候補には以下の条件をあらかじめ提示し、該当者の中から選択を行った。

- 条件：10代～30代男女かつ、以下すべてに該当する人
1. スマートフォンのバッテリー残量に不安を感じることがある。
 2. 学生もしくは社会人

調査対象者に対し、調査研究項目に関する資料として動画をリモートで提示した後、オンラインによるグループ・インタビュー形式で意見交換を実施後、Web によるアンケート調査を行った。

下記の表 1 からわかるように本調査での対象者は男性、30代、会社員が多いことが分かる。これは「スマートフォンのバッテリー残量に不安を感じる」という条件が一つの要因だと考えられる。加えて本調査ではネットを用いた募集を主にしたため、ネットサービスに精通している層ということも要因であると考えられる。

表 1 調査対象者属性

Table 1 Attribute of survey targets
 性別

	人数	%
男性	45	61.6%
女性	28	38.4%
全体	73	100.0%

年代

	人数	%
10代	3	4.1%
20代	15	20.5%
30代	55	75.3%
40歳以上	0	0.0%
全体	73	100.0%

職業

	人数	%
学生	6	8.2%
会社員	56	76.7%
会社役員	0	0.0%
パート・アルバイト	9	12.3%
契約・派遣社員	2	2.7%
会社経営・自営業	0	0.0%
公務員・教職員	0	0.0%
専業主婦/主夫	0	0.0%
無職	0	0.0%
その他	0	0.0%
全体	73	100.0%

居住地

	人数	%
北海道	0	0.0%
東北	0	0.0%
関東	54	74.0%
中部 (甲信越・北陸・東海)	7	9.6%
関西	10	13.7%
中国	1	1.4%
四国	0	0.0%
九州	0	0.0%
沖縄	1	1.4%
全体	73	100.0%

使用しているスマートフォンの種類

	人数	%
Android	57	78.1%
iPhone	16	21.9%
わからない	0	0.0%
その他	0	0.0%
全体	73	100.0%

データ通信料契約プラン

	人数	%
無制限	10	13.7%
定額	63	86.3%
全体	73	100.0%

契約キャリア

	人数	%
NTT ドコモ	28	38.4%
au	11	15.1%
SoftBank	8	11.0%
その他	26	35.6%
全体	73	100.0%

外出頻度

	人数	%
ほぼ毎日	24	32.9%
週3～5回程度	33	45.2%
週1～2回程度	13	17.8%
ほとんど外出しない	3	4.1%
全体	73	100.0%

日常的な外出時間

	人数	%
12時間以上	10	13.7%
9時間以上12時間未満	29	39.7%
6時間以上9時間未満	18	24.7%
6時間未満	14	19.2%
その他	2	2.7%
全体	73	100.0%

スマートフォンで行う作業割合

	人数	%
Webサイトの閲覧	71	97.3%
Web検索・情報収集	71	97.3%
動画視聴	68	93.2%
SNSやブログでの情報発信	40	54.8%
オンラインショッピング	62	84.9%
ネットバンキング	44	60.3%
資料作り (Word, Excel, PowerPoint 等)	46	63.0%
パソコンやスマホの設定変更	42	57.5%
アプリ作成やプログラミング	17	23.3%
その他	4	5.5%
全体	73	-

3.2 アンケート回答

アンケートでは、端末間協調省電力フレームワークおよびバッテリープールコンセプトによって実現される具体的な利点である(1)バッテリー節約と(2)つながる電波という二つの観点を中心に説明する動画を用いてインタビューを行った。

調査対象者は先に挙げた2つの条件(1. スマートフォンのバッテリー残量に不安を感じることもある。2. 学生もしくは社会人で選別したのちこちらで用意した動画の視聴後、リモート会議ツールを用いて今回のアンケートの趣旨説明、動画の理解度推定やスマートフォンで困っていること、このフレームワークの利点、欠点について議論を行った。そして適宜主催者側で補足説明をした後、個別にwebでのアンケートに対し回答を依頼した。以下、具体的なアンケート項目とその回答について説明する。

3.2.1 スマートフォンのバッテリーについて

ここでは、自身のスマートフォンのバッテリー残量に対し、バッテリー残量を確認する頻度、バッテリー残量が何パーセント程度になると不安を感じるか、これまで外出中にスマートフォンのバッテリーが切れたことはあるか、外出中に、スマートフォンのバッテリーが切れないようにどのような対策をしているか、モバイルバッテリーを保持しているかの5点についてのアンケート回答結果を以下の表2示す。これらの表から次のことが明らかになった。

1. 調査対象者の約90%がスマートフォンのバッテリー残量を一日に一回以上確認する。
2. 調査対象者の約71%がスマートフォンのバッテリー残量が30%を下回ると不安を感じる。
3. 調査対象者の約96%が外出中にバッテリーが切れたことがある、もしくはバッテリー切れの不安を感じたことがある。
4. バッテリー切れ対策として調査対象者の約48%がモバイルバッテリーを使用している。
5. 多くの調査対象者が節電アプリ、節電機能を用いて消費電力の低減を行っている。

表 2 スマートフォンのバッテリーについて

Table 2 About Smartphone Batteries

スマホのバッテリー残量を確認する頻度.

	人数	%
一日 4 回以上	34	46.6%
一日 1~3 回程度	32	43.8%
週 4~6 回程度	4	5.5%
週 3 回以下	3	4.1%
全体	73	100.0%

スマホのバッテリー残量は、何パーセント程度になると不安を感じますか.

	人数	%
80%以上でも不安を感じる	1	1.4%
70%台	0	0.0%
60%台	1	1.4%
50%台	11	15.1%
40%台	17	23.3%
30%台	22	30.1%
20%台	10	13.7%
10%台	9	12.3%
10%未満	2	2.7%
不安を感じることはない	0	0.0%
全体	73	100.0%

外出中にスマホのバッテリーが切れたことはありますか.

	人数	%
切れたことがある	48	65.8%
切れたことはないが、バッテリー切れの不安を感じたことがある	22	30.1%
バッテリー切れの不安を感じたことはない	3	4.1%
全体	73	100.0%

外出中に、スマホのバッテリーが切れないようにどのような対策をしていますか(複数回答).

	人数	%
モバイルバッテリーを持ち歩いている	35	47.9%
節電アプリを使っている	5	6.8%
省電力モードやエコモード等になっている	31	42.5%
ふだんの外出中に充電コードを持ち歩いている	31	42.5%
ふだんの外出中に充電できる場所を情報収集している	11	15.1%
特に対策はしていない	12	16.4%
その他	5	6.8%
全体	73	-

モバイルバッテリーを保有しているか.

	人数	%
持っている	59	80.8%
持っていない	14	19.2%
全体	73	100.0%

3.2.2 平常時(災害が発生していないとき)における端末間協調省電力フレームワーク提供機能について

ここでは平常時(災害が発生していない時)を想定し、端末間協調省電力フレームワークによって提供される2つの利点であるバッテリーの長持ち(当アプリを用いてモバイル

データ通信を共有することで、全員のバッテリーが長持ちする)とつながる電波(自分のスマートフォンの電波がつかない状態でも、Wi-Fi グループを通じて他のスマホの通信キャリアからネットに接続できる)についてのアンケート結果を以下の表3示す。これらの表から次のことが明らかになった。

1. 約88%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能について好意的に感じている。
2. 約92%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるつながる電波機能について好意的に感じている。

表 3 通常時におけるバッテリー節約機能とつながる電波機能について

Table 3 About the battery saving function and the connected radio wave function in normal operation

バッテリー節約機能

	人数	%
大変うれしい	33	45.2%
うれしい	31	42.5%
どちらともいえない	5	6.8%
あまりうれしいと思わない	3	4.1%
うれしいと思わない	1	1.4%
全体	73	100.0%

つながる電波機能

	人数	%
大変うれしい	34	46.6%
うれしい	33	45.2%
どちらともいえない	3	4.1%
あまりうれしいと思わない	3	4.1%
うれしいと思わない	0	0.0%
全体	73	100.0%

3.2.3 災害時における端末間協調省電力フレームワーク提供機能について

ここでは災害時を想定し、端末間協調省電力フレームワークによって提供される2つの利点であるバッテリーの長持ち(当アプリを用いてモバイルデータ通信を共有することで、全員のバッテリーが長持ちする)とつながる電波(自分のスマートフォンの電波がつかない状態でも、Wi-Fi グループを通じて他のスマホの通信キャリアからネットに接続できる)についてのアンケート結果を以下の表4示す。これらの表から次のことが明らかになった。

1. 100%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能について好意的に感じている。
2. 100%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるつながる電波機能について好意的に感じている。

表 4 通常時におけるバッテリー節約機能とつながる電波機能について

Table 4 About the battery saving function and the connected radio wave function in disaster operation

バッテリー節約機能

	人数	%
大変うれしい	57	78.1%
うれしい	16	21.9%
どちらともいえない	0	0.0%
あまりうれしいと思わない	0	0.0%
うれしいと思わない	0	0.0%
全体	73	100.0%

つながる電波機能

	人数	%
大変うれしい	61	83.6%
うれしい	12	16.4%
どちらともいえない	0	0.0%
あまりうれしいと思わない	0	0.0%
うれしいと思わない	0	0.0%
全体	73	100.0%

3.2.4 平常時、自身が proxy 端末(親機)になって、モバイルデータ通信を共有することについて

ここでは平常時(災害が発生していない時)を想定し、自身が proxy 端末(親機)になって他のスマートフォン端末を収容することに対するアンケート結果を以下の表5に示す。これらの表から次のことが明らかになった。

1. 約82%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能をデータ通信ができる家族や友人に提供してもよいと感じている。
2. 約93%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるつながる電波機能をデータ通信ができない家族や友人に提供してもよいと感じている。
3. 約33%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能をデータ通信ができる第三者に提供してもよいと感じている。
4. 約44%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるつながる電波機能をデータ通信ができない第三者に提供してもよいと感じている。

表 5 平常時、自身が proxy 端末(親機)になって、モバイルデータ通信を共有について

Table 5 In normal situations, can you become the proxy terminal (parent) and share the mobile data communication.

家族・友人がデータ通信できる場合(目的:バッテリー節約)

	人数	%
親機になってもよい	60	82.2%
あまり親機になりたくない	13	17.8%
全体	73	100.0%

家族・友人がデータ通信できない場合(目的:つながる電波)

	人数	%
親機になってもよい	68	93.2%
あまり親機になりたくない	5	6.8%
全体	73	100.0%

他人(第三者)がデータ通信できる場合(目的:バッテリー節約)

	人数	%
親機になってもよい	24	32.9%
あまり親機になりたくない	49	67.1%
全体	73	100.0%

他人(第三者)がデータ通信できない場合(目的:つながる電波)

	人数	%
親機になってもよい	32	43.8%
あまり親機になりたくない	41	56.2%
全体	73	100.0%

3.2.5 災害時、自身が proxy 端末(親機)になって、モバイルデータ通信を共有することについて

ここでは災害時を想定し、自身が proxy 端末(親機)になって他のスマートフォン端末を収容することに対するアンケート結果を以下の表6に示す。これらの表から次のことが明らかになった。

1. 約90%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能をデータ通信ができる家族や友人に提供してもよいと感じている。
2. 約93%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるつながる電波機能をデータ通信ができない家族や友人に提供してもよいと感じている。
3. 約69%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能をデータ通信ができる第三者に提供してもよいと感じている。
4. 約75%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるつながる電波機能をデータ通信ができない第三者に提供してもよいと感じている。
5. 約29%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能、つながる

る電波機能平常時、災害時、友人、家族、第三者等の条件に一切関係なく提供してもよいと感じている。

表 6 災害時、自身が proxy 端末(親機)になって、モバイルデータ通信を共有について

Table 6 In disaster situations, can you become the proxy terminal (parent) and share the mobile data communication.

家族・友人がデータ通信できる場合 (目的: バッテリー節約)

	人数	%
親機になってもよい	66	90.4%
あまり親機になりたくない	7	9.6%
全体	73	100.0%

家族・友人がデータ通信できない場合 (目的: つながる電波)

	人数	%
親機になってもよい	68	93.2%
あまり親機になりたくない	5	6.8%
全体	73	100.0%

他人 (第三者) がデータ通信できる場合 (目的: バッテリー節約)

	人数	%
親機になってもよい	50	68.5%
あまり親機になりたくない	23	31.5%
全体	73	100.0%

他人 (第三者) がデータ通信できない場合 (目的: つながる電波)

	人数	%
親機になってもよい	55	75.3%
あまり親機になりたくない	18	24.7%
全体	73	100.0%

すべての場合で親機になってもよいと回答した人の割合

	人数	%
すべての場合で親機になってもよい	21	28.8%
あまり親機になりたくない場合が1つでもある	52	71.2%
全体	73	100.0%

4. 考察

先の結果から、多くの人スマートフォンバッテリー稼働時間に不満を持ち、何らかの方法で対処(モバイルバッテリーや省電力ツール)を用いていることが分かった。次に端末間協調省電力フレームワーク二つの機能であるバッテリー節約とつながる電波機能では、すべてのケースにおいて、つながる電波機能がより好意的に感じられていることが分かった。その原因の一つとして、バッテリーの問題はある程度個人で対処可能だが、通信の電波に関しては個人で対処ができないという意見があった。

次に proxy 端末(親機)になり他者を収容、自身のバッテリーを消費することで、他者にバッテリー節約やつながる電波機能を提供することに関しては、状況(通常時、災害時)、誰を(友人、家族か第三者)で大きく異なる結果が出た。通常時バッテリー節約のために友人、家族に機能を提供することに関しては、約82%の調査対象者が許容するのに対し、同じ条件で第三者に対しては約33%と49%以上減ってしまった。同様に通常時つながる電波機能を友人、家族に機能を提供することに関しては、約93%の人調査対象者が許容するのに対し、同じ条件で第三者に対しては約44%と49%以上減ってしまった。

一方で災害時では、バッテリー節約のために友人、家族に機能を提供することに関しては、約90%の人調査対象者が許容するのに対し、同じ条件で第三者に対しては約69%と21%以上減ってしまった。同様に災害時つながる電波機能を友人、家族に機能を提供することに関しては、約93%の人調査対象者が許容するのに対し、同じ条件で第三者に対しては約75%と18%以上減ってしまった。

これらのことから、通常時にバッテリー節約のために proxy 端末(親機)担って第三者を収容することに対し、非常にネガティブな人も、災害時かつ電波が繋がらない人を収容することに関してはポジティブであることが分かる。これは災害時における相互互助的な考え方が浸透していることが原因として推測される。

一方で自由回答を見ると、常日頃モバイルバッテリーを持参している人ほど他者収容に抵抗を感じ、反対にモバイルバッテリーを持ち歩かずかつバッテリー切れで困った経験がある人ほど、他者収容に寛大という結果も見えた。

5. まとめ

本論文では、提案しているバッテリープールコンセプトの有効性を被験者実験のアンケートを通して検証した。その結果、約88%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるバッテリー節約機能について好意的に感じ、約92%の調査対象者が端末間協調省電力フレームワークによって提供されるつながる電波機能について好意的に感じていることが分かった。一方で自身が proxy 端末(親機)担って他者を収容することに関しては、その相手が家族、知人か否か、通常時か災害時か、バッテリー節約かつつながる電波機能かで大きく結果が異なった。

参考文献

- [1] 服部 聖彦, 天間 克宏, 趙 欧, 単 麟, 安達 文幸, 大和田 泰伯: 末間協調省電力通信フレームワーク実機実験を用いた有効性の評価一, 情報通信学会論文誌 B, Vol.J102-B, No.6, pp.435-444, 2019.