

LTE対応スマートフォンの技術開発

Development of LTE Smartphone

増田 達也
Tatsuya Masuda

松野下 昌弘
Masahiro Matsunoshita

坂本 昭人
Akito Sakamoto

大洞 路夫
Michio Obora

陣内 弘喜
Hiroki Jinnai

山口 浩平
Kohei Yamaguchi

要 旨

次世代の高速データ通信方式としてLTE (Long Term Evolution) の商用化が世界各国で進んでいる。当社では、LTE対応スマートフォンの技術開発を行い、LTE Release8 (Category3) に対応することにより、Downlink最大75 Mbit/sおよびUplink最大25 Mbit/s (15 MHz帯域幅時) を実現し、従来のスマートフォンから大きく進化させた。特に、①干渉を抑えたLTE無線回路設計および省電力化技術、②小型・低相関・高利得なMIMO (Multiple-Input Multiple-Output) アンテナ技術、③CPU処理の最適化による省電力技術開発により小型化・低消費電力を実現した。

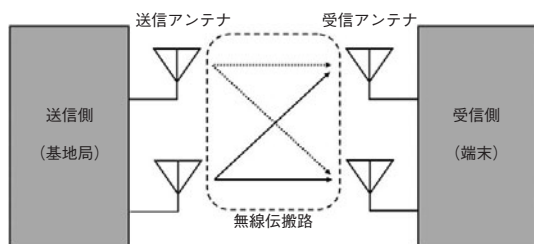
Abstract

Long Term Evolution (LTE) has been expanding in the global market as a method for high-speed data communication over next-generation mobile networks. We have developed an LTE Smartphone with downlink of up to 75 Mbit/s and uplink of up to 25 Mbit/s (at 15 MHz bandwidth) which was achieved by conforming to LTE Release8 (Category3). It has evolved greatly from 3G Smartphone terminals. This paper describes the following three Panasonic original technologies used to develop the Smartphone: 1) LTE Radio Frequency (RF) circuit design technology to reduce power consumption and suppress interference; 2) Low correlation coefficient Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) antenna technology; and 3) Power consumption reduction technology by optimizing CPU control.

1. はじめに

近年の携帯電話データ通信の需要が伸びている中、移動体通信の伝送高速化と通信事業者の大容量通信を実現する次世代通信方式としてLTEのサービスが注目され、国内外の多くの携帯事業者が採用し、急速に普及し始めている。

LTEでは無線伝送の高速化を実現するための新技術として、MIMO技術が採用されている[1]。MIMO技術は第1図に示すように、送信側(基地局)と受信側(端末)で複数のアンテナを備えることにより伝送スループットを高めることが可能となる。そのため、LTE搭載スマートフォンでは、メインアンテナとサブアンテナの2つのアンテナを搭載している。



第1図 MIMOアンテナシステム

Fig. 1 MIMO antenna system

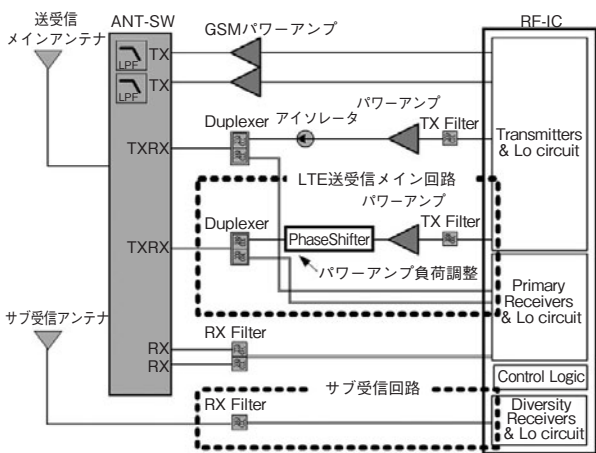
しかしながら、LTEを搭載したスマートフォンは、①LTE対応回路の追加、②MIMOアンテナの搭載、③CPU処理速度向上により、消費電流増加と実装エリア増大によるセットサイズへの影響などの課題がある。

そこで、本稿ではLTE端末の特徴を最大限生かしつつ、上記課題を克服し、LTE対応スマートフォンに求められる要件を向上させるための技術開発について説明する。

2. LTE無線回路設計

2.1 無線部全体概要

第2図に、LTE対応スマートフォンの無線部システムブロック図を示す。無線受信回路は、複数の送受信アンテナを搭載するMIMO技術の採用により受信回路を2系統としているが、特にメインアンテナからサブアンテナに干渉が発生しない回路設計を行っている。送信回路は、LTE対応する周波数は高い直線性確保が必要となるため消費電力が増加するが、その改善としてロスを改善するためにアイソレータを削除しながらも電流を削減し、パワーアンプを最適に動作させることで、LTE対応による消費電流増加を抑えることを実現した。

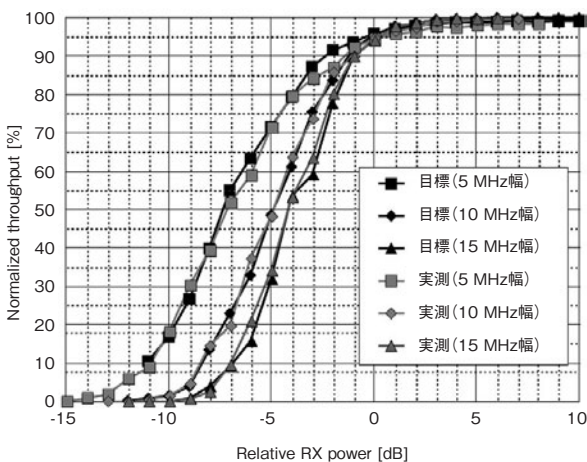


第2図 LTEスマートフォン無線部システムブロック図
Fig. 2 RF system block diagram of LTE Smartphone

2.2 LTE下り回線のスループット特性

LTE下り回線はN本のアンテナから送られた異なる信号をN本以上のアンテナで受信し、信号分離処理するMIMO技術によってシングルアンテナと比較して理論上通信速度がN倍になる高速通信を実現している。LTE端末開発においては、その複数の受信アンテナが自送信した信号波や液晶ディスプレイなどの内部回路からの不要輻射による感度抑圧を受けない回路設計が必須であり、本開発では①各フィルタの減衰量配分検討、②感度抑圧源と本回路の部品配置検討により、感度抑圧量を低減する回路設計を行った。

第3図に、LTE対応スマートフォンのスループット特性評価結果を示す。



第3図 反響チェンバを用いたスループット特性評価結果
Fig. 3 Throughput performance for MIMO antennas reverberation chamber

評価結果は、一例として反響チェンバ（3次元一様レイリーフェージング環境）法[2]で行った。図中の「実測」は本技術開発のLTE対応スマートフォンを用いた結果であり、「目標」はMIMOアンテナとして垂直と水平ダイポールアンテナを用い、低相関、低損失な理想的なアンテナ、回路特性を確保した試作機で測定した結果である。図の横軸はスループット95%の感度点を合わせたRelative RX Powerを、縦軸はスループット実測値を理論値で割った正規化スループットを示す。また、評価は5 MHz、10 MHz、15 MHz帯域幅で行った。

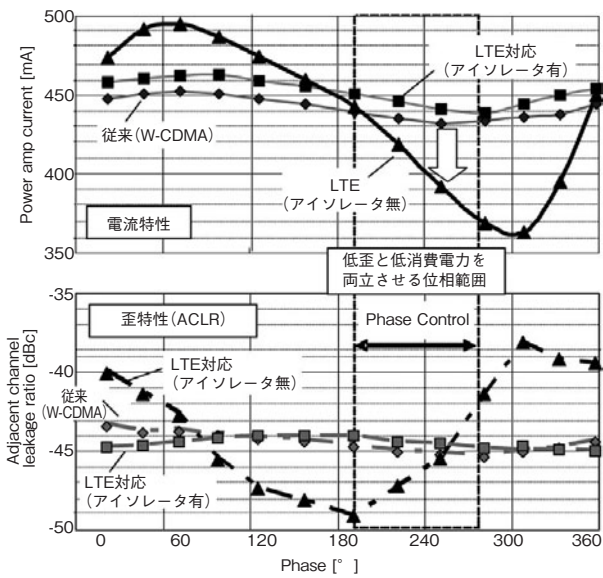
上記回路設計と第3章で述べるアンテナ開発により、復調処理性能を最大限引き出し、LTE対応スマートフォンでは、第3図でのスループット特性のとおり、目標値に対して理想的スループット性能を実現している。

2.3 LTE上り回線送信電流の課題と改善

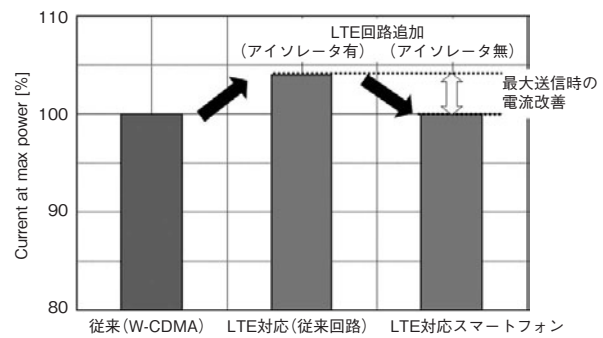
LTE上り回線では、SC-FDMA（Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access）変調方式を採用している。これはW-CDMA（Wideband Code Division Multiple Access）（R99）方式と比べるとPAPR（Peak to Average Power Ratio）が高く、パワーアンプの高い直線性が必要で消費電流が高くなる課題がある。

そこで、本技術開発ではLTE通信時の電流削減取り組みの一つとして、アイソレータを削除して回路ロスを軽減し電流削減に取り組んだ。アイソレータは、アンテナ負荷変動によるパワーアンプ負荷への影響を抑える部品であり、単純に削除するとアンテナ負荷変動によるパワーアンプの消費電流と歪（ひずみ）性能（ACLR：Adjacent Channel Leakage Ratio）劣化への影響がある。そのため、本技術開発ではパワーアンプ出力にPhase Shift回路を追加することで、アンテナ負荷変動時のパワーアンプ負荷を調整する（第2図参照）。LTE対応スマートフォンで検討したパワーアンプの負荷変動特性を、第4図に示す。

Phase Shift回路により、位相をPhase Control領域内に制御することで低消費電流と、適正值内に管理された低歪特性の両立が実現できた。その結果LTE対応の従来回路から最大通信時の電流を大幅に軽減させることができ、第5図に示すように、LTE回路を追加してもW-CDMAに対して送信時の消費電流が増加しないことを確認した。送信時の消費電流を、第4図に示す。



第4図 パワーアンプの負荷変動特性
Fig. 4 Power amp performance with load variation influence



第5図 LTE対応スマートフォン送信電流特性の改善
Fig. 5 Improved overall transmit current of LTE Smartphone

3. アンテナ開発

LTE対応スマートフォンに搭載したアンテナ構成について説明する。

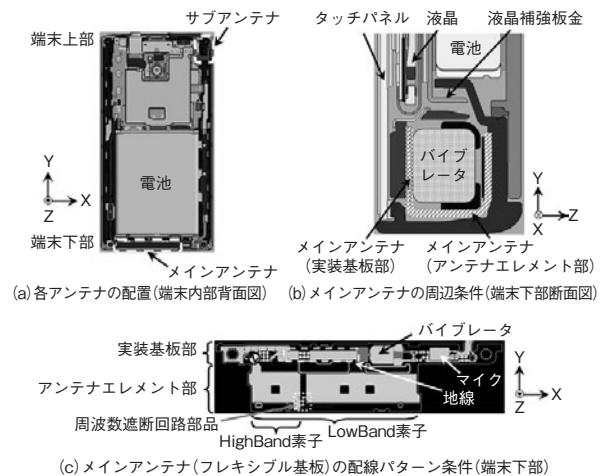
3.1 開発課題

本開発では、MIMOアンテナ設計において高いスループットを実現するため、メインアンテナとサブアンテナ間で低い相関係数を確保するとともに、各アンテナが高利得となるアンテナ設計を目指している。一方で、開発課題として、液晶サイズの大型化により、必然的に端末サイズが大きくなるため、従来機種同等のアンテナエリアを確保すると、さらに端末サイズが大きくなる課題があり、メインアンテナの小型化が求められていた。また、ラウンドフォルムデザインの実現のため、サブアンテナ

のスペースが十分に確保できない課題があり、アンテナの小型化は商品力を左右する重要な開発テーマであった。このような背景から、本アンテナ開発においては、アンテナの小型化を実現するとともに、高いスループットを実現するための、低相関・高利得なMIMOアンテナ構成の具現化を目指した。

3.2 メインアンテナの技術開発

メインアンテナ構成を、第6図に示す。メインアンテナは、フレキシブル基板上で構成されたモノポールアンテナをSAR (Specific Absorption Rate) 設計の観点から端末下部に配置している。なお、アンテナの小型化を実現させるため、フレキシブル基板上で構成された「アンテナエレメント部」とアンテナの整合回路やバイブレータ、マイクなどが実装されている「実装基板部」とを一体化させる当社独自の技術により、従来機種に対して約26%のアンテナエリアの小型化を実現している。また、実装基板部に地線を配置することで、アンテナの小型・広帯域化を実現するとともに、手保持時のアンテナ電流分布を最適化し、人体影響による性能劣化を低減する工夫を施しており、0.5 dB ~ 1.0 dBの性能改善を得ている。

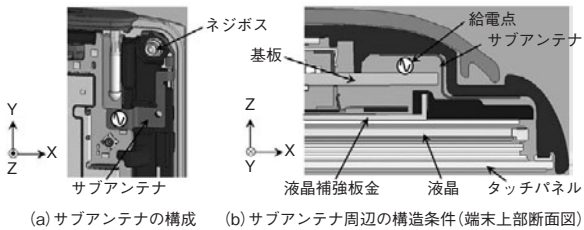


第6図 メインアンテナ構成
Fig. 6 Main antenna structure

3.3 サブアンテナの技術開発

サブアンテナは第7図 (a) に示すように、板金で構成されたモノポールアンテナを端末上部の角に配置している。配置理由として、サブアンテナは受信側だけの対応のためSARを考慮する必要がないことから、手持ち状態における人体からの影響を低減するために手に握られにくい端末上部を選んでいる。また、MIMOアンテナにおいては、アンテナ間距離が近接するとアンテナ素子間の

結合が発生し、放射効率の低下と相関係数の上昇により、スループットが劣化するという課題が生じるため[3]、低結合となるようメインアンテナから距離を離れた配置にしている。ラウンドフォルムデザインによるアンテナスペース不足に対しては、第7図に示すように、アンテナと近接する液晶、液晶補強板金、タッチパネル、そのほか金属構造物との配置関係の最適化や、アンテナの立体構造による空間活用（ネジボス周囲活用）などの構造設計により性能を確保している。



第7図 サブアンテナ構成
Fig. 7 Sub antenna structure

3.4 アンテナ性能

メインアンテナとしては、従来機種に対して約26%のアンテナエリアの小型化（端末長手方向のアンテナサイズの短縮）を実現するとともに、従来機種同等以上のアンテナ性能を確保し、通話性能として約2 dBの改善を得た。サブアンテナとしては、帯域内においてVSWR (Voltage Standing Wave Ratio) =1.1以下の性能を確保し、相関係数については設計目標値0.5以下に対して、0.2という低い値を得ることができ、低相関化により前述したスループット性能の確保を実現した。各アンテナ間の利得差は手保持時にて0.3 dBであり、MIMOアンテナにおいて理想的である等利得なアンテナ性能を確保した。このように、アンテナの小型化により、端末サイズの小型化およびラウンドフォルムデザインの実現に対して貢献するとともに、低相関・高利得なMIMOアンテナを実現した。

4. 省電力化技術

LTE対応スマートフォンでの省電力化技術について説明する。

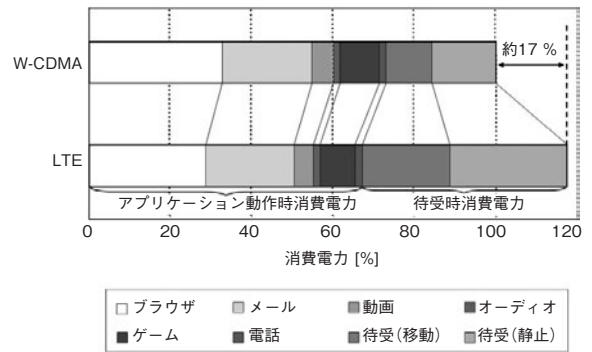
4.1 LTE対応スマートフォンでの消費電力

バッテリーの持ち時間はスマートフォンにおいて重要視される性能の1つである。このバッテリーの持ち時間の指標とするため、独自に定めた1日のユースケースを

用い、LTEおよびW-CDMA環境下での1日当たりの消費電力量の見積もりを行った。この結果を、第8図に示す。

LTE環境下では、W-CDMA環境と比較して消費電力が大きくなり、特に待受（まちうけ）状態での電力消費の増加が大きな要因となっている。LTEでは、データ通信時（connected状態）において送受信するデータがなくなった場合に、CDRX（Connected mode Discontinuous Reception）と呼ばれる間欠受信動作を行うことで、connected状態よりも十分に低い消費電流で通信を維持しながら高速データ通信時には速やかな復帰を行うことができる。この動作によりアプリケーション動作中は伝送部の消費電流が低減されるため消費電力は減少する。しかし待受時においては、このCDRX動作の消費電力が無視できなくなり消費電力が増加することとなる。

この見積もり結果から、アプリケーション動作時と待受時の消費電力に大別し、それぞれに対して削減に取り組むこととした。



第8図 1日の消費電力量見積もり
Fig. 8 Power estimation of 1 day use-case

4.2 アプリケーション動作時消費電力削減

アプリケーション動作時の消費電力を削減するためCPUの省電力化制御に取り組んだ。

一般にCPUの省電力化の手法として、DVFS（Dynamic Voltage and Frequency Scaling）と呼ばれる技術がある。本開発では、このDVFSの考え方にに基づき、各ユースケースにおいて、動作に影響のない範囲で動的にCPUクロックを低下させることで省電力化を図った。

Android^(注)にはgovernorと呼ばれるCPUクロック制御の仕組みがあり[4]、このgovernorのパラメータをチューニングすることで動作クロックを低減させている。

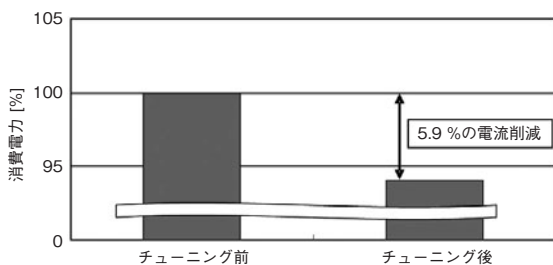
CPUクロックは、定められたサンプリングレートで動作負荷を監視し、一定の条件を満たした場合に遷移する。

(注) Google Inc.の商標または登録商標

応答性の良いパラメータに設定した場合、負荷に応じた迅速なクロック制御を実現できるが、必要以上にクロックが上昇し消費電流が増加する。また応答性の悪いパラメータでは、負荷が大きく変動する場合、低クロック状態へ遷移するのに要する時間がかかることになり、これも電流増加の要因となる。

これらを踏まえ、負荷変動の挙動が異なる幾つかのユースケースで評価を実施し、最も消費電流が少なくなるようgovernorパラメータを最適化し、必要なCPUクロックを適切なタイミングで供給する制御を実現した。また併せて、最低クロックで動作している場合や特定のアプリケーション実行中は応答性の良いパラメータに変更することで、端末の処理性能と省電力性能を両立させている。

チューニング前後の消費電流を比較した結果を、第9図に示す。このユースケースにおいて約5.9%の電流を削減している。



第9図 消費電流削減の効果（メール動作時）
Fig. 9 Effect of reducing power consumption (Mail)

4.3 待受時の消費電力削減

待受時Androidスマートフォンでは、データ同期処理のためバックグラウンドでのデータ通信が発生し、端末はサスペンド状態から頻繁に起動する。またシステム処理や、無線ネットワークの状態変化などでも端末は起動し、これらバックグラウンドの動作で電力を消費する。待受時の消費電力を削減するためには、これらの起動要因が妥当なものかを検証する必要がある。

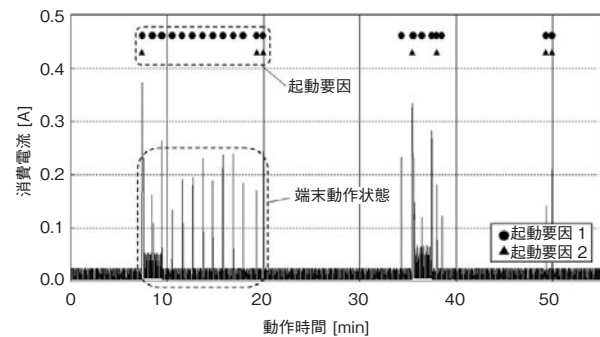
端末がどのような要因で電力を消費しているかは、動作ログデータを取得し、そのログの解析を行う必要があるが、動作ログは不要な情報が多く含まれており、情報が膨大となるため不具合箇所を特定するのが困難だった。

この課題を解決するため、動作ログの解析ツールを導入した。このツールは、時間経過に対する電流値データに対して、動作ログの情報データから主要な動作イベントをマッピングし、1つのグラフの中で消費電流と端末

動作の関係が分かるようになっている。第10図に、イベントをマッピングした電流波形の例を示す。

第10図に示す状態では、端末が頻繁に起動する現象が発生していた。この箇所にマッピングされている起動要因を確認したところ、通常動作と差分があったため詳細解析を実施した。解析の結果、特定の条件下で頻繁に割り込みを発生させるデバイスがあることが判明したため、この不必要な割り込みが抑制されるように制御を変更した。

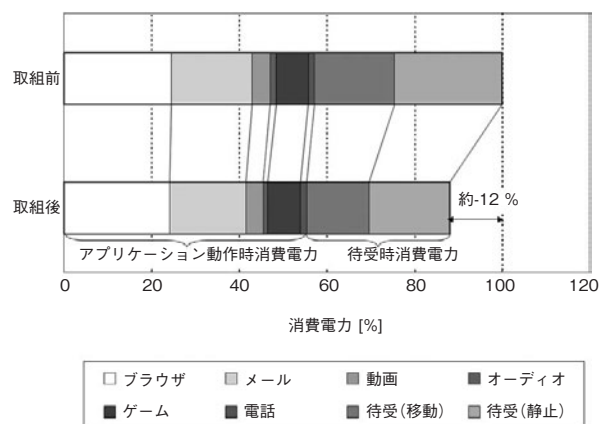
このようにツールを活用することで、不要な端末起動やデータ通信などを迅速に抽出し、それぞれの処理の最適化を行い、待受時の消費電力の削減を実現している。



第10図 イベントをマッピングした電流波形（静止待受時）
Fig. 10 Current wave form and event symbols mapping

4.4 省電力取り組み結果

省電力取り組み前後の消費電力結果を、第11図に示す。省電力化の取り組みにより、約12%の消費電力削減を達成している。



第11図 省電力改善効果
Fig. 11 Outcome of low power activity

5. まとめ

本稿で述べた回路・アンテナ・省電力の取り組みは、スマートフォンを小型・低消費電力にするために必須の取り組みであり、感度抑圧低減、低相関・高利得なMIMOアンテナ、省電力に寄与するアイソレータレスや、CPUクロック制御の最適化を行うことでLTE対応スマートフォンの技術開発を実現した。

筆者らは、スマートフォンは伝送速度、電池持ちのさらなる改善が必要と考えており、今後のスマートフォンの性能向上に貢献していきたい。

参考文献

- [1] I. E. Teletar, "Capacity of multi-antenna gaussian channels," Tech. Rep., AT&T-Bell Labs, Jun. 1995.
- [2] 岡野由樹 他, "実使用状態の特性を反映させた端末アンテナ総合無線性能評価と測定効率化," NTT DOCOMOテクニカルジャーナル, vol.17, no.2.
- [3] 阪口啓 他, "MIMO伝搬特性の測定装置・測定方法・解析方法・モデル化," 信学論 (B), vol.J88-B, no.9, Sept. 2005.
- [4] Linux_3.0.8_source/Documentation/cpu-freq/governors.txt

執筆者紹介



増田 達也 Tatsuya Masuda
パナソニック モバイルコミュニケーションズ (株)
モバイルターミナルビジネスユニット
Mobile Terminal Business Unit, Panasonic Mobile
Communications Co., Ltd.



松野下 昌弘 Masahiro Matsunoshita
パナソニック モバイルコミュニケーションズ (株)
モバイルターミナルビジネスユニット
Mobile Terminal Business Unit, Panasonic Mobile
Communications Co., Ltd.



坂本 昭人 Akito Sakamoto
パナソニック モバイルコミュニケーションズ (株)
モバイルターミナルビジネスユニット
Mobile Terminal Business Unit, Panasonic Mobile
Communications Co., Ltd.



大洞 路夫 Michio Obora
パナソニック モバイルコミュニケーションズ (株)
モバイルターミナルビジネスユニット
Mobile Terminal Business Unit, Panasonic Mobile
Communications Co., Ltd.



陣内 弘喜 Hiroki Jinnai
パナソニック モバイルコミュニケーションズ (株)
モバイルターミナルビジネスユニット
Mobile Terminal Business Unit, Panasonic Mobile
Communications Co., Ltd.



山口 浩平 Kohei Yamaguchi
R&D本部 クラウドソリューションセンター
スマート端末開発室
Smart Device Development Office,
Cloud Solutions Center, R&D Div.