

# IoT向け低消費電力化技術の開発 —eDRXおよび低消費電力UIMの提供—

無線アクセス開発部 谷口 眞人  
 ドコモ・テクノロジー株式会社 パケットNW事業部 滝田 和輝 鈴木 雄一郎  
 移動機開発部 井田 雄啓

IoT向けの通信端末は、電池寿命などの観点から、スマートフォンなどに比べて低消費電力化が求められる。ドコモでは、この要求に応えるため、待受け時の消費電力低減技術であるeDRXおよび、消費電力を低減可能とするUIMを2017年に提供開始した。本稿ではこれらの技術の動作原理や特徴について解説する。

## 1. まえがき

IoT (Internet of Things)\*1向けの通信端末では、例えば環境センサや計量器などの機器を、電源が必ずしも確保できない場所に設置するユースケースが考えられる。このようなユースケースにおいては電池により電源を確保することになるが、特に多数の端末を分散して配置する場合などでは電池交換が困難であり、多大なコストを要することが想定される。

一方、IoTデバイスに特徴的な通信形態の1つとして、たとえば日単位のセンシングデータの送信など、低頻度の通信が挙げられる [1]。このような通信形態では、待受け時の消費電力が端末の電池寿命に大きく影響する。

そこでドコモでは、上記のようなユースケースとIoTデバイスの特徴を考慮し、スマートフォンなど通常のLTE端末に比べて電池寿命や電力効率を改善するIoT向け低消費電力化技術の開発を進めている。2017年には、待受け時の消費電力を低減する通信技術であるeDRX (Extended Discontinuous Reception) への対応および、低消費電力UIM (User Identity Module)\*2の開発を行い、提供を開始した。サンプル機を用いた測定結果では、上記2つの技術を合わせて約90%の消費電力の低減効果を確認している [2]。

本稿では、これら2つの低消費電力化技術がどのようにドコモネットワークおよび端末で実現されているかについて解説する。

\*1 IoT：さまざまな「モノ」がインターネットやクラウドに接続され、制御・情報通信される形態の総称。

\*2 UIM：電話番号やIMSI (\*13参照)などの契約者情報を記録したICカード。移動端末に差し込み、ユーザの識別に用いる。

## 2. eDRX技術

ドコモでは、端末の消費電力低減を実現するために、3GPP Release 13 [3] にて標準化された、待受け中 (RRC\_IDLE<sup>\*3</sup>) におけるeDRXに対応した。

eDRXの動作原理や、eDRXのパラメータ設定において考慮すべき消費電力と着信遅延のトレードオフについて以下に解説する。

### 2.1 eDRXによる低消費電力化の仕組み

はじめに、スマートフォンなどの従来端末の待受け時の省電力化に利用されているDRX (Discontinuous Reception) とよばれる技術について解説する。端末が着信を待ち受ける際には、一定の周期 (DRX周期) に1回、ネットワークからのPaging<sup>\*4</sup>メッセージの受信を試みる。このときに端末が自身宛のPagingを受信した場合、待受け状態を解除し、ネットワークとの通信を開始する。端末がPaging受信を試みるタイミングの模式図を図1(a)に示す。

このDRX (間欠受信) 動作では、Pagingの受信

を試みない期間に無線信号の送受信を停止することで、常にPaging受信を試みる場合と比較して消費電力を削減している。

上記のDRXに対して、Pagingの受信機会をさらに低頻度にすることで消費電力低減効果を向上させる技術がeDRXである。eDRXによる待受け動作の模式図を図1(b)に示す。

eDRX動作中の端末は、PTW (Paging Time Window) と呼ばれる周期的な区間内においてのみ、前述のDRX周期に従ってPagingの受信を試みる。このPTWの長さや周期 (eDRX周期) のパラメータ設定により、Paging受信動作の頻度、ひいては消費電力低減の程度が定まる。

例えば図1(b)では、DRX周期が1.28秒、PTW長が6.4秒 (= 1.28秒 × 5)、eDRX周期が102.4秒 (= 1.28秒 × 80) の場合を示している。この場合、eDRX動作中の端末は102.4秒のうちにPTW内の5回のみPagingの受信を試みる。通常のDRX動作においては同期間に80回の受信を行うため、eDRXにより受信動作の回数を大幅に削減できる。

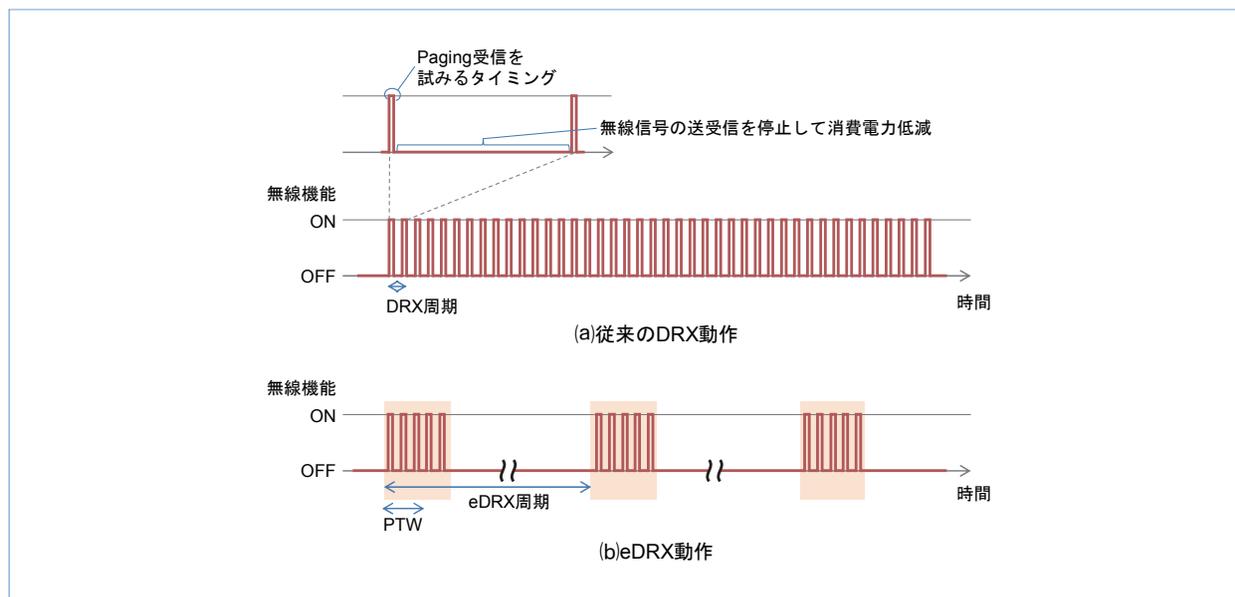


図1 DRXとeDRXにおけるPaging受信タイミングの比較

\*3 RRC\_IDLE : LTEにおける端末の状態の1つ。eNBには端末のコンテキストを保持せず、MME (\*5参照) にて端末のコンテキストが保持されている。RRC\_IDLE状態ではデータ通信は行われない。

\*4 Paging : 着信時に待受け中の端末を呼び出す手順および信号。

## 2.2 eDRXの動作概要

### (1)eDRXの有効化およびパラメータ設定

eDRXはネットワークと端末が協調して動作する技術である。このため端末の起動時などにネットワークと端末間でeDRXにかかわる動作条件（動作の有効化／無効化、eDRXパラメータ（eDRX周期、PTW長）の設定値）を確定させる必要がある。ネットワークと端末間の手順を以下で解説する（図2）。

#### ①端末からMME（Mobility Management Entity）\*5

へeDRXパラメータの要求値を通知

eDRXの有効化を期待する端末はAttach\*6/TAU（Tracking Area Update）\*7 RequestにeDRXパラメータを設定することで動作の有効化を要求する。

#### ②MMEでeDRXパラメータ値を決定

Attach/TAU Requestを受信したMMEは、端末から通知されたeDRXパラメータの値を基に、実際に適用する設定値を決定する。

#### ③MMEから端末へのeDRXパラメータの設定値の通知

MMEは処理②で決定した設定値をAttach/TAU Acceptで端末へ通知し、端末は通知された設定値を適用しeDRXを有効化する。

この手順を用いることにより、IoTデバイスのよ

うな、eDRXを有効化する必要がある端末のみにeDRXを適用することができる。

### (2)eDRX待受け時における着信動作

eDRX待受け中の端末は、PTWの範囲外の期間（最大43分）ではPagingを受信することができない。一方、端末と通信したい利用者（例：IoTデバイス管理者）やアプリケーションは、端末側のPTWのタイミングを意識せずに端末へデータの送信を行う。

このタイミングの差を補うためにEPC（Evolved Packet Core）\*8はHLCom（High Latency Communication）\*9技術を用いて、適切なタイミングで端末にPagingメッセージを送信する制御および送信データのバッファリングを行う。

HLCom技術による制御シーケンスを図3に示す。

①サーバから端末向けのデータパケットがネットワークに着信すると、S-GW（Serving Gateway）\*10にてパケットバッファリングを行いつつ、MMEへ着信を通知する。

②該当端末の状態がPTWの範囲外の場合、MMEは端末が着信パケットを受信可能となるまでの時間を、次回のPTWが開始されるまでの時間、Pagingメッセージ応答時間などを考慮して導出する。そして、MMEはS-GWにパケットバッファリング時間（DL Buffering Duration）を通知し、S-GWは通知された時間までパケット

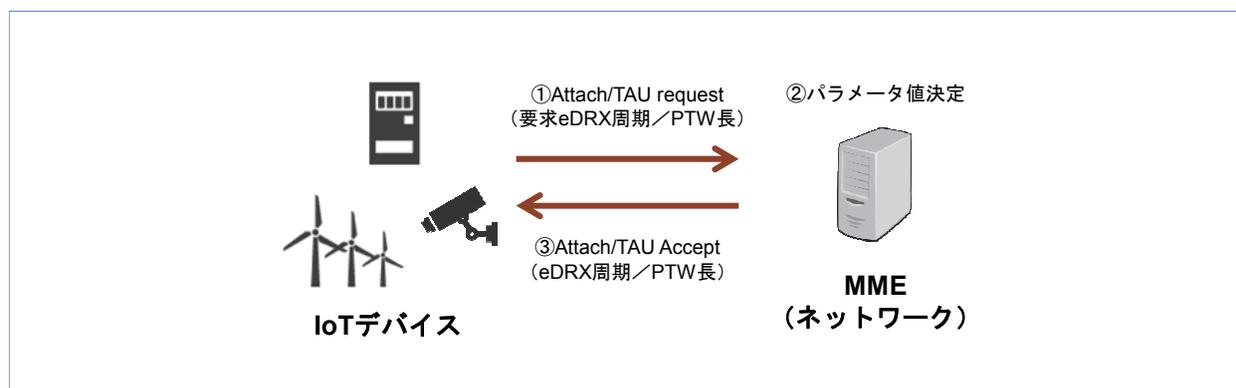


図2 eDRXの有効化およびパラメータ設定の手順

\*5 MME：eNBを収容し、モビリティ制御機能などを提供する論理ノード。

\*6 Attach：端末の電源投入時などにおいて、端末をネットワークに登録する処理および状態。

\*7 TAU：端末の位置登録情報を更新する処理。

\*8 EPC：LTEをはじめとした無線アクセス網を収容するコアネッ

トワーク。

\*9 HLCom：eDRXなどの技術を使用し接続要求に即座に応答できない端末に対して、適切なタイミングでPagingメッセージを送信する制御や送信データのバッファリングを行う機能。

\*10 S-GW：LTEネットワーク上でのパケット交換機。P-GWとの間でユーザデータの送受信を行う。

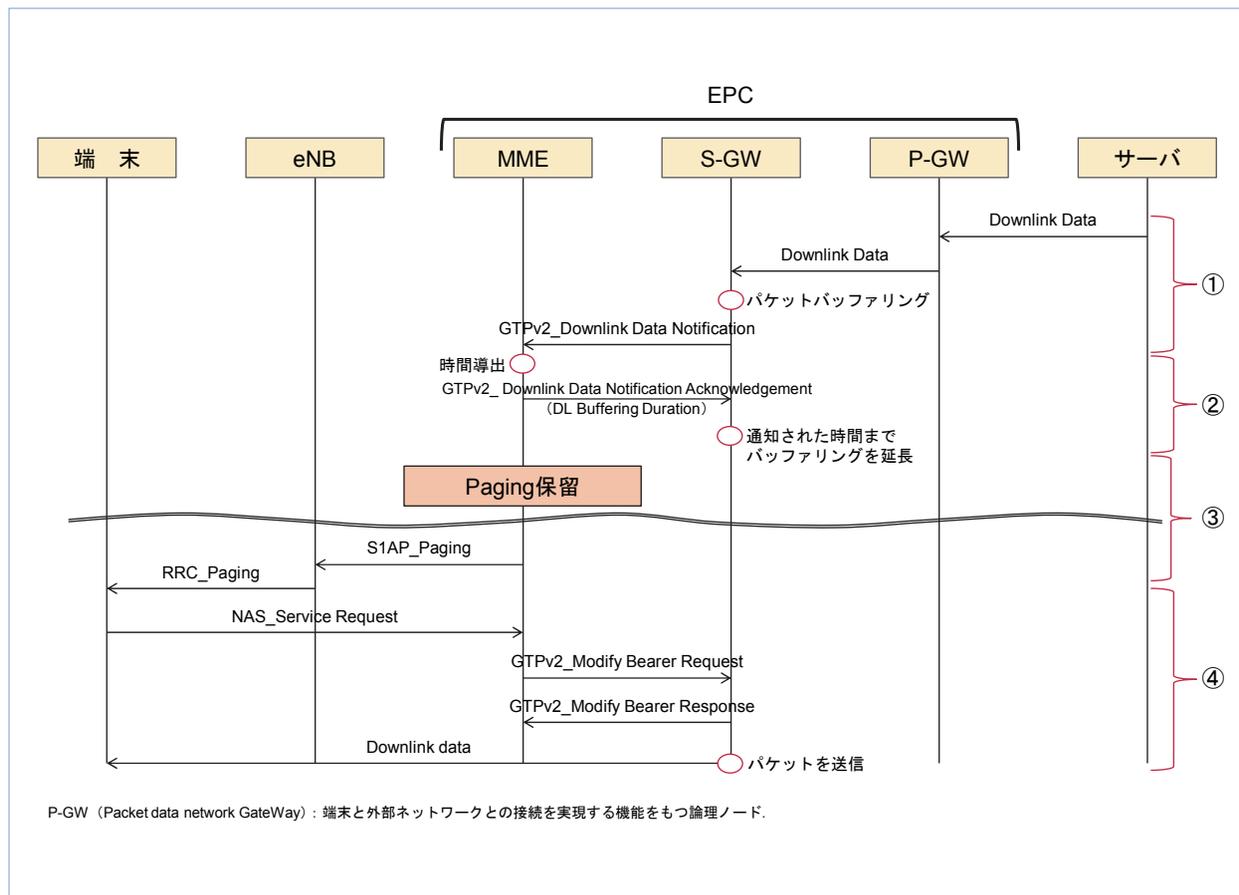


図3 HLComの制御シーケンス

バッファリングの延長を行う。

③MMEは次回のPTWが開始される時刻までPagingメッセージの送信を保留し、PTWの開始時刻にPagingメッセージをeNB (evolved NodeB)<sup>\*11</sup>に送信する。

④その後、端末とネットワーク間で通信ベアラ<sup>\*12</sup>を確立し、データパケットをS-GWから端末へ送信する。

(3)端末間のPaging受信タイミングの分散

1回のPagingによって複数端末の呼出しを同時に行うことができるが、同時に呼出しが可能な端末の数には限りがある(標準仕様上、最大16)。この最大数を超える呼出しが同一のPaging機会に発生し

た場合には、Pagingの送信を延期するネットワーク動作としている。なお、Pagingの衝突が極端に多く延期しきれないケースでは、最終的にPagingが破棄される。

(a)DRX動作における受信タイミング決定

同一タイミングでのPagingの衝突を低減するため、従来のDRX動作においても、DRX周期の中でPaging受信のタイミングを端末ごとに分散させることが標準仕様で規定されている。この分散は、端末のIMSI (International Mobile Subscriber Identity)<sup>\*13</sup>の一部の桁を取り出しModulo演算<sup>\*14</sup>を適用した結果に応じて受信タイミングを決定することで実現している[4]。

\*11 eNB : LTEにおける無線基地局。

\*12 ベアラ : P-GW, S-GW, eNB, 端末間で設定される論理的なユーザデータパケット伝達経路。

\*13 IMSI : UIM内部に格納される、移动通信で使用するユーザごとに固有の番号。

\*14 Modulo演算 : 2つの数について、一方の数を他方の数で除算した余りを求める演算。

#### (b)eDRX動作におけるタイミング分散効果向上

eDRX機能においては、従来の分散方法に加え、PTWの始点を端末ごとに分散させる。PTWの始点はS-TMSI (SAE-Temporary Mobile Subscriber Identity)<sup>\*15</sup>にCRC (Cyclic Redundancy Check) 演算<sup>\*16</sup>およびModulo演算を適用することにより算出する。

3GPPの当初の議論ではPTWの始点をIMSIから導出することが考えられていたが、タイミングの分散効果を向上させるために、従来のDRXタイミングに用いるIMSIではなくS-TMSIを用いてPTWの始点を決定するように変更された。

MMEの実装によってはS-TMSIの一部の桁が固定に近いケースが考えられる。単純な例として連続した番号を順に割り当てる場合を考えると、上位の桁ほど長い期間にわたって値が固定になる。このような場合にもPTWのタイミングを適切に分散させるため、CRC演算によりS-TMSIの一部のビットの差異が全体に影響するような考慮を加えている。

### 2.3 eDRX周期における消費電力と着信遅延のトレードオフ

前述のように、eDRX周期を長く設定するほどPagingの受信機会を削減することができ、端末の消費電力を低減することができる。一方で、PTWに該当しない期間においてはPagingを送受信できないため、下りの着信が端末に到達するまでに最大でおよそeDRX周期分の時間を要する。

上記の特性を考慮し、eDRX対応端末を利用するユーザやシステムの要件に応じて、端末への着信に対して許容できる最大応答遅延より若干小さい値をeDRX周期として設定することで、所望の遅延要件を満たしつつeDRXによる消費電力低減効果を得ることができる。

なお、端末から送信すべき上りデータが発生した

場合には、PTW外の期間であっても即時に待受け状態が解除され、上りデータの送信が開始される。

したがって、eDRXの適用により上りデータの遅延量が大きく劣化することはない。

## 3. 低消費電力UIM

### 3.1 通信におけるUIMの役割

UIMは端末から電源供給されることで動作し、オペレータより付与された加入者情報を保持し、位置登録手順にて端末を通してNWと認証手順を行う。これによりそのUIMに保持される加入者情報が照合され、端末(UIM)がそのオペレータの正規ユーザであることが確認される。さらには音声やデータの暗号化を行うための暗号鍵は認証手順によりUIMで作成され、それを利用してNWとの通信が実施される(図4)。そのため、端末は常にUIMが挿入された状態で利用されることが前提となる。

### 3.2 省電力機能

#### (1)UICC (Universal Integrated Circuit Card)<sup>\*17</sup>

Presence DetectionおよびCAT (Card Application Toolkit) pollingの停止

前述のように、端末にUIMが挿入されている状態で利用されることが前提となるため、その状態を確認するための機能としてUICC Presence Detectionというものがある。これは定期的に(標準仕様では30秒以内に一度以上)端末がUIMに対してSTATUS commandというメッセージを送信し、その応答を受信することで確認するものである。しかしRelease 12より省電力対応のため、NWとの通信を行わない場合はこれを省略することが可能となっている。ただし、通信が開始される場合は直ちに端末よりSTATUS commandを送信しUIMの存在を確認する必要がある。

また、UIMに搭載されているアプリケーション

\*15 S-TMSI：同一ネットワーク内でユーザを一意的に識別するための一時的な番号。MMEにより払い出される。

\*16 CRC演算：入力ビット列を多項式とみなし、その多項式をあらかじめ定められた特定の多項式(生成多項式)で除算した余りを求める演算。一般的にはデータの伝送中に生じた誤りの検出に用いられる。

\*17 UICC：電話番号やIMSIなどの契約者情報を記録したICカード。UIMカード、SIMカードと同義で使用している。

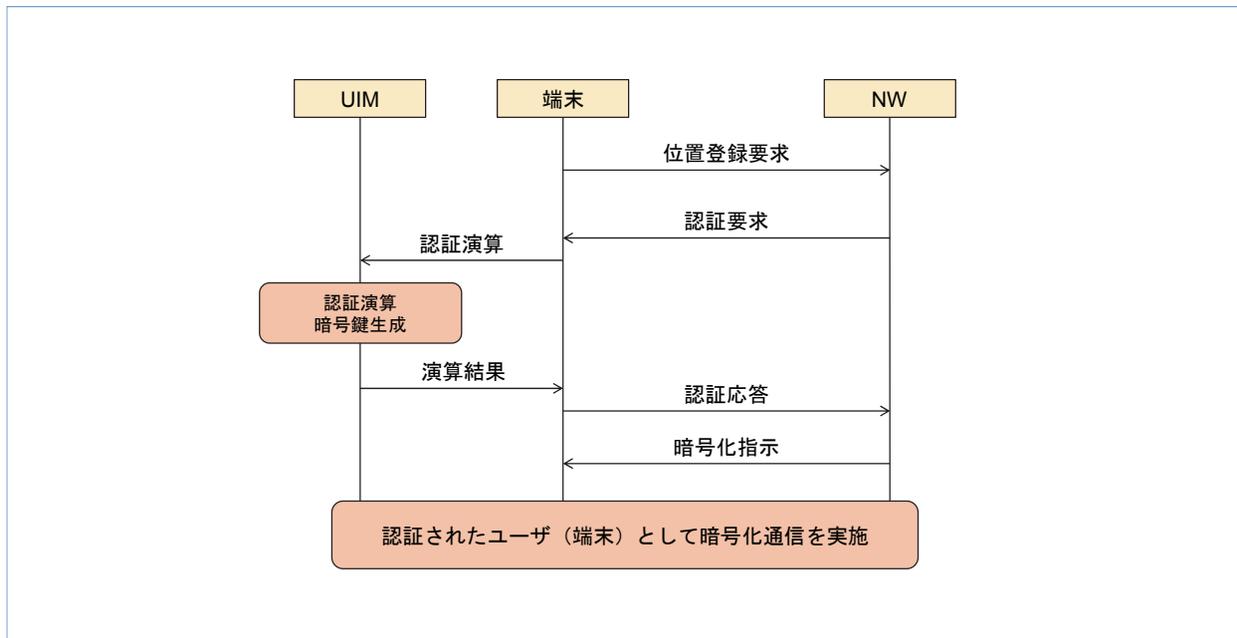


図4 位置登録手順

を実行する場合、端末より定期的にCAT pollingという信号を介して、UIM内に実行待ちのアプリケーションがあるか否かという確認手順が実施される。UIM内に実行されるアプリケーションがない場合は、UIMはあらかじめこのpollingを停止することが可能である。

eDRX期間中、端末はNWとの通信を行わないため、この2種類の定期的な端末とUIM間の通信を抑制することができる。

#### (2)UIM Deactivate機能

UIMでは端末からの要求にいつでも応答できるために常に電源供給されている状態である。ところがNWとの通信（位置登録を含む）を実施しない場合は、上記のUICC Presence DetectionおよびCAT pollingを止めることで端末とUIM間では通信が発生しない。それを利用しUIMへの電源供給も止めてしまうことでUIMにかかる電力を0にすることが可能である。Release 13では、通信中のUIMへの電源供給を止めることに対応しているか否かをUIM

読み出し時に確認することが可能であり、端末は必要に応じてUIMをDeactivate（動作停止）し、UIMへの電源供給を止める。ただし、通信を開始する場合は、UIMのActivate手順から実施し、UIM内の複数のファイルを読み出す必要があり、そこで電力が消費されるため、一定以上の休止が期待される場合に効果的である。

標準化上のドキュメント（3GPP TR31.970 Table 2: Comparison of power consumption [5]）の例によれば、UIMが端末と通信していない間のUIMに流れる電流は約 $15\mu\text{A}$ とかなり小さいが、1日間になると $0.36\text{mAh}$ 程度消費することになる。一方でUIMを1回Activate（動作開始）するためには $0.06\text{mAh}$ 程度消費する。このため、NWとの通信（位置登録を含む）が1日当り数回未満となるような通信頻度が低い利用条件において効果が期待できる。

これらの技術を組み合わせて利用することで、UIMで消費される電力を抑制可能としている（図5）。

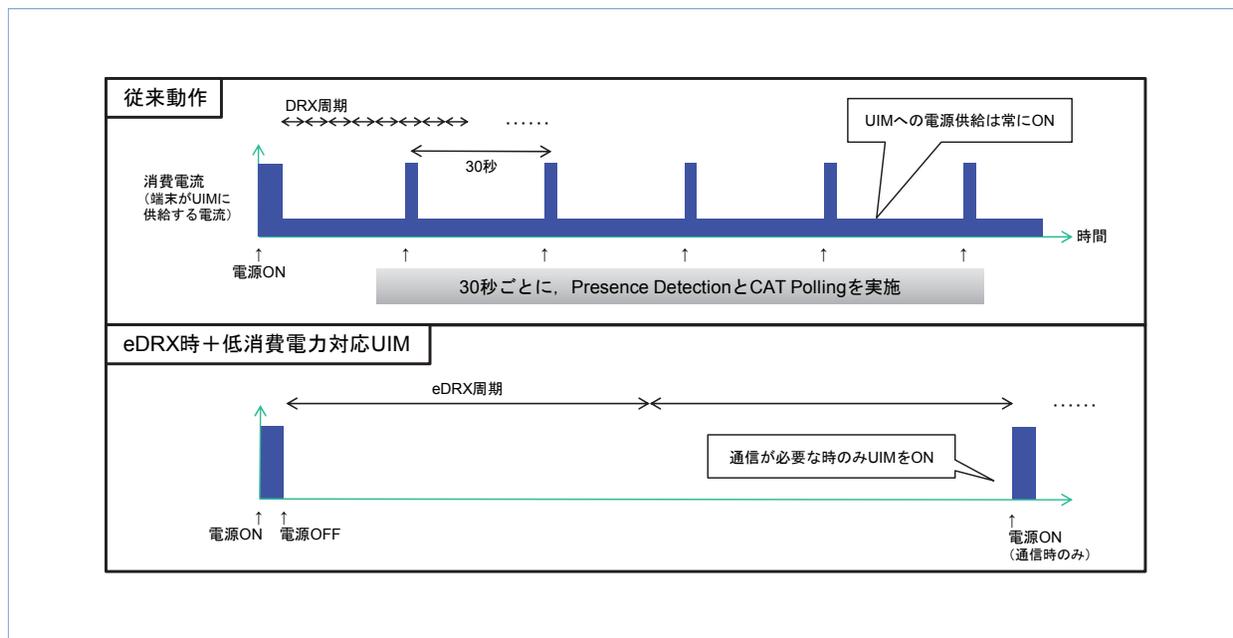


図5 待受け中のUIMの動作と消費電流

## 4. あとがき

本稿では、IoT向け端末の低消費電力化を実現するeDRX機能および低消費電力化UIMについて、動作原理や特徴を解説した。

ドコモでは、今後もUE Category M1 (LTE-M) やUE Category NB1 (NB - IoT) などの通信技術 [3] を商用化することで、最適なIoT通信環境の実現を図っていく予定である。

### 文献

[1] 3GPP TR 23.887 V12.0.0: "Study on Machine-Type Com-

munications (MTC) and other mobile data applications communications enhancements," Dec. 2013.

[2] NTTドコモ報道発表資料: "IoT通信機器の消費電力を約5分の1に低減するeDRX技術を提供開始," Sep. 2017. [https://www.nttdocomo.co.jp/info/news\\_release/2017/09/26\\_01.html](https://www.nttdocomo.co.jp/info/news_release/2017/09/26_01.html)

[3] 武田, ほか: "LTE Release 13におけるIoTを実現する新技術," 本誌, Vol.24, No.2, pp.38-49, Jul. 2016.

[4] 3GPP TS 36.304 V13.8.0: "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) procedures in idle mode," Dec. 2017.

[5] 3GPP TR31.970 V14.0.0: "Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE UICC power optimisation for Machine-Type Communication," Jun. 2017.