

USB、「Type-C」充電の実態

USBの新しいコネクタ「Type-C」の仕様が2014年8月に策定されてからおよそ2年。ノートパソコンやタブレット端末、スマートフォンなどに徐々に採用されており、**2次電池の急速充電に利用**されている。新しい技術だけに、充電時のトラブルはないか。市販されているType-C搭載機を利用して、その実態を調査したのがアリオンである。同社は、IT機器の品質検証や性能評価、高速インターフェースのロゴ認証や相互接続検証などを手掛けている。その調査結果を同社に解説してもらう。**（本誌）**



（画像：Getty Images）

USBによる充電の不具合が後を絶たない。幅広い層のユーザーが「Micro-B」コネクタを搭載した携帯機器、特にスマートフォンをUSBで充電するようになってから、**トラブルは増加傾向**にある。中には、充電中に過熱して発火したり、水で濡れた状態で充電して感電したりと、重大な事故も起きている。



図1 携帯機器ではUSB充電が一般的

USBの「Micro-B」コネクタを通じて携帯機器を充電するのが当たり前になった。「Type-C」コネクタが登場してからは、さらに大きな電力で急速充電が可能になった。

2015年からは「Type-C」コネクタを採用する製品が登場し、同コネクタを通じて、「USB Power Delivery (PD)」と呼ばれる給電仕様による急速充電が可能になった(図1)。大きな電力を供給できるようになる分、便利になるが、充電時のトラブルが発生する可能性が高まる。実際、ノートパソコンでいち早くType-Cコネクタを採用した米Apple社の「MacBook」では、きちんと充電できない恐れがあるとして、2016年2月にType-Cを搭載した付属のUSBケーブルの回収・交換を始めた。

Type-Cによる代表的な充電ケースは3つある。(1) Type-Cコネクタを備える機器と、同機器に付属した充電器(いわゆる純正品)を接続する場合、(2) 純正ではない充電器を接続した場合、(3) Type-C搭載機器(ホスト機器)同士を接続した場合である。

我々は、これら3つの接続ケースについて、Type-Cによる充電がどのようになっているのか、市販されている機器や充電器を試験し、その実態を探っている。このうち、今回は、調査が終わった(1)と(2)の結果について紹介したい。

USBの仕様は大きく3つ

2つの試験の結果を紹介する前に、簡単に現状のUSBについておさらいしたい。USBには大きく3つの仕様がある。データ伝送と電力供給、そしてコネクタである。2013年8月に仕様が策定されたUSB 3.1では、最大データ伝送速度が10Gビット/秒の「Super Speed USB Gen2」でデータ通信しながら、5V/900mAのバスパワーを供給できる。つまり、ナンバリングされたUSBの仕様は、データ伝送速度と電力供給の仕様を規定している。データ伝送速度の仕様だけで言えば、Super Speed USB Gen2が最新である。

電力供給に関しては、一般的なバスパワーとは別に、データ通信せずに電力のみ最大7.5W(5V/1.5A)を供給する「USB Battery Charging (USB BC)」がある(表1)。2010年10月に「USB BC 1.2」が策定された。電力供給を開始する前に、D+/D-端子を用いて給電側と受電側で特定の通信(ネゴシエーション)を行い、問題がないことを確認してから電源を供給する仕様である。この動作モードを「Charging Down Streaming Port (CDP) モード」と呼ぶ。

表1 USBによる電力供給の主な仕様

USBの仕様		給電の最大値 (被充電側)
バスパワー	USB2.0	2.5W (5V/0.5A)
	USB3.1	4.5W (5V/0.9A)
	Type-C Current	15W (5V/3A)
	USB PD 2.0	100 (20V/5A)
	USB PD 3.0	
充電専用	USB BC 1.2	7.5W (5V/1.5A)

[画像のクリックで拡大表示]

携帯機器の2次電池の充電だけにUSBを利用する機会が増えたことから、利便性を高めるために、こうした通信を行わずに充電できる「Dedicated Charging Port (DCP) モード」もある。DCPモードでは、D+/D-間の200Ωの短絡を判定し、電力を供給する。DCPモードの登場によって、安価な充電器と充電回路を可能にしたものの、充電事故が起きる可能性が高まった。

そこで登場したのが、USB PDである。2012年5月に「Rev.1.0」が策定され、2016年4月時点で「Rev.3.0」(USB PD 3.0)になった。Ver.3.0は仕様が固まったばかりで、対応製品が登場するのは早くも2016年末とみられており、現在、「Rev.2.0」(USB PD 2.0)対応製品が市場で売られている。

USB PDの特徴は、データ通信しながら、最大100Wの電力を供給できることである。給電できる電力に応じて、主に5つのプロファイルがある(表2)。電流は最大で5A、電圧は最大で20Vと高い。従来のバスパワーは、USB 3.1で4.5W(5V/900mA)、USB 2.0で2.5W(5V/500mA)が最大だった。大きな電力を扱うので、電力供給側(ソース)が、被充電側(シンク)を正しく認識できないと電源を供給しない(Cold Start)。加えて充電中でも、電源供給側と、被充電側は相互に通信し、正しく通信できない場合には電源供給を停止する仕組みである。これにより、充電時に重大な事故が起きないようにしている。

表2 USB PD 2.0の電力プロファイル

プロファイル	最大供給電力	電圧	電流
1	10W	5V	2A
2	18W	5V	2A
		12V	1.5A
3	36W	5V	2A
		12V	3A
4	60W	5V	2A
		12V	3A
		20V	3A
5	100W	5V	2A
		12V	5A
		20V	5A

[画像のクリックで拡大表示]

この5つの電力プロファイルはあくまで参照値であり、各プロファイルの最大電力内であれば、電圧や電流はある程度自由に設定できる。加えて、USB PD 3.0からは、表3のように電力プロファイルが変わった。PD 2.0まで、電圧は5V、12V、20Vだったが、PD 3.0からは5V、9V、15V、20Vになった。

表3 USB PD 3.0 から導入された新しい電力プロファイル

供給電力 (PDP)	電圧5V時の電流値 (A)	電圧9V時の電流値 (A)	電圧15V時の電流値 (A)	電圧20V時の電流値 (A)
0.5W以上、15W以下	PDP/5	規定なし		
15W超、27W以下	3	PDP/9	規定なし	
27W超、45W以下		3	PDP/15	規定なし
45W超、60W以下			3	PDP/20
60W超、100W以下				PDP/20**

* 1) 5A を流せる USB ケーブル が 必須

[画像のクリックで拡大表示]

万能で“複雑”な Type-C

コネクタに関しては、2014年8月に策定された Type-C、正確には「USB Type-C Cable and Connector Specification」が最も新しい。Type-C の特徴は、裏面と表面で挿抜可能な「リバーシブル」に対応する他、前述した Super Speed USB Gen2 と USB PD に対応することである。加えて、「Alternate Mode」と呼ばれる動作モードに対応しており、「DisplayPort」といった他の映像伝送規格の信号も送受信できる。

こうした Type-C コネクタの特徴の中でも、利便性が高まるとして着目されたのが USB PD への対応である。USB の仕様策定・普及促進団体である「USB-IF」も、Type-C と USB PD をセットで利用できることをアピールしてきた。

そのため、Type-C コネクタを搭載している機器を見ると、「これは USB PD を利用する急速充電に対応する」と考える技術者が多い。ところが、実態は異なる。現在販売されている Type-C コネクタ搭載機は、必ずしも USB PD には対応しておらず、従来の USB 3.1/2.0 のバスパワーや USB BC に対応するものも存在する。

しかも、Type-C ホストは「Type-C Current」として、5V/1.5A、あるいは 5V/3A で供給できるバスパワー仕様が Type-C に追加された。つまり、USB のバスパワー充電だけで、従来仕様 (5V/500mA、5V/900mA) と Type-C で追加された Type-C Current、USB PD の3つがある。もしデータ通信せずに、充電のみ実施するなら、この3つに、充電専用の USB BC が加わる。

このあたりの話を整理するため、Type-C コネクタ上でどのようにしてバスパワー充電が実施されるか、順を追って説明したい。

CC 端子で電圧と電流を決める

Type-C 仕様では、充電器とホスト機器（被充電側）を接続すると、USB PD によるプロトコルを始める前に、まず被充電側（UFP : Up streaming Facing Port）は「CC（Configuration Channel）」端子を用いて、充電器（DFP : Downstream Facing Port）の「Rp（プルアップ抵抗値）」を読む（図 2、3）。実際には、CC ピンの電圧を読み出し、被充電側自身の抵抗値 Rd（これは既知の値）から算出する。次に、この抵抗値によって、5V/1.5A、あるいは 5V/3A という Type-C Current で給電できるかどうかを被充電側が判定する。

レセプタクルの端子配置 (ホスト機器)

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
GND	TX1+	TX1-	Vbus	CC1	D+	D-	SBU1	Vbus	RX2-	RX2+	GND
GND	RX1+	RX1-	Vbus	SBU2	D-	D+	CC2	Vbus	TX2-	TX2+	GND
B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1

プラグの端子配置 (充電器)、充電関連の端子のみ記載

A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1
GND			Vbus				CC	Vbus			GND
GND			Vbus	V _{COM#1}				Vbus			GND
B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12

図 2 Type-C はリバーシブル対応

Type-C は、裏面と表面で挿抜可能な「リバーシブル」に対応する。充電を開始する前に、CC 端子を用いて、電圧や電流を決めるやり取りを行う。

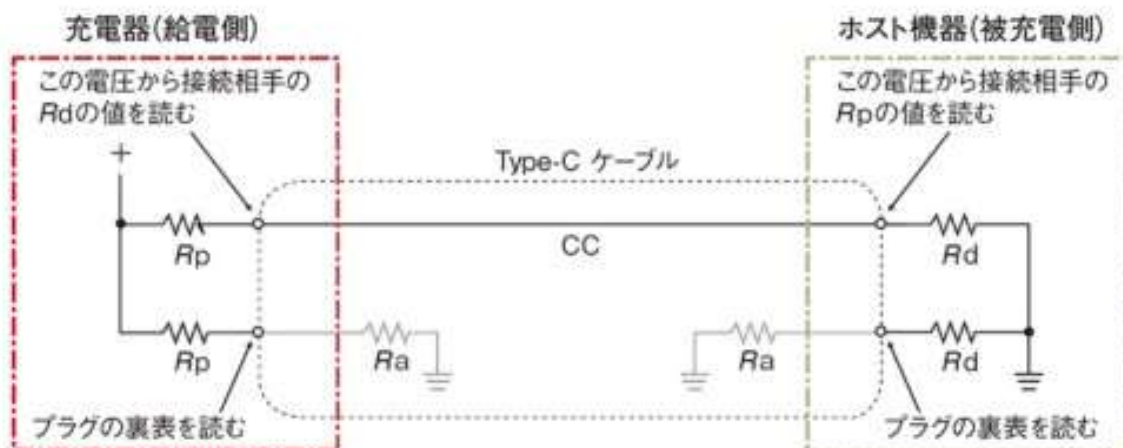


図 3 Rd の抵抗値で判定する

Type-C では、CC 端子の電圧を読み出し、被充電側の抵抗値 R_d (既知の値) から充電器の「 R_p (プルアップ抵抗値)」を算出する。値によって、5V/1.5A、あるいは 5V/3A という Type-C Current で給電できるかどうかを被充電側が判定する。

被充電側は、CC 端子の電圧を常に監視して電流値を制御する。被充電側に R_d が実装されていない場合には、充電器は従来のバスパワーモード (500mA あるいは 900mA) で給電する。

R_d の値を判定できた場合、充電器は続いて、USB PD による充電が可能かどうか判断する。充電器と被充電側が USB PD に対応している場合には、相互に通信して USB PD による給電の電圧と電流の値を決める。

USB PD でも CC 端子を用いて充電器 (USB PD でいう「ソース」と、ホスト機器 (USB PD でいう「シンク」) で通信する。このとき、ソースは自身が供給できる電圧と電流の値をシンクに知らせる。シンクは、通知された電圧と電流の組み合わせの中から受電したいものを選び、ソースに通知する。ソースは、これを受けて、シンクに対して給電を始める (図 4)。USB PD に関する一連のやり取りは、ソースとシンクそれぞれに搭載された USB PD 用の制御 IC が実施する。以上が Type-C コネクタ上での充電前に実施されるやり取りである。

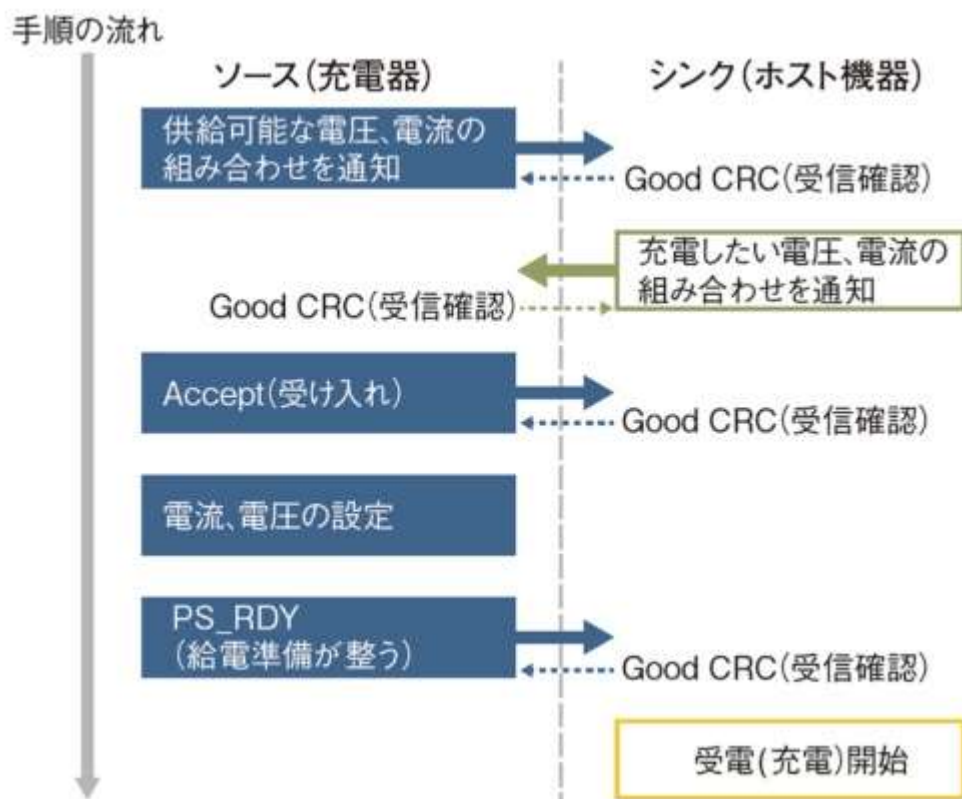


図 4 事前に電力の電圧と電流の値を決める

USB PD ではソース (充電器) とシンク (ホスト機器) で通信して、ソースからシンクに対して供給する電力の電圧と電流の値を決める。ソースは自身が供給できる電圧と電流の値をシンクに知らせる。シンクは、通知された電圧と電流の組み合わせの中から受電したいものを選び、ソースに通知する。ソースは、これを受けて、シンクに対して給電を始める。

なお、ホスト機器は、充電器に接続された場合には被充電側になるものの、携帯機器と接続した場合には携帯機器を充電する側になる場合がある。ホスト機器が充電する側とな

った場合には、上述の充電器としてのシーケンスを実現する必要があるので、留意すべきである。

Type-C による充電にはこの他、米 Qualcomm 社の「Quick Charge」のような、USB コネクタを利用する他の充電規格も利用される。このため、Type-C を利用した充電は複雑で分かりにくい。そこで、その実態を 1 番目の試験結果を基に説明する。

Quick Charge」の充電を確認

1 番目の試験は、Type-C コネクタを備える機器と、同機器に付属した充電器（純正品）を接続する場合を想定したものである。きちんと充電できるのかを調べるだけでなく、充電時の電圧値と電流値を調べた。10 機種で調べたが、本稿ではそのうち 8 機種の結果を紹介する。

試験の結果、4 つの機種が、従来の 5V を大幅に超える電圧で充電していた。米 Google 社のノートパソコン「Chromebook Pixel（2015 年モデル）」は 20V/1.2A、米 Apple 社の 12 型ノートパソコン「MacBook（MF855TA/A）」（2015 年の台湾向けモデル）では 14.5V/1.9A、同ノートパソコンの MacBook（MK4M2LL/A）は 14.6V/1.9A、中国 Xiaomi 社のスマートフォン「Mi4c」は 9V/1A だった（表 4）。

表 4 Type-C のプラグ部分で測定した結果

測定は 3 回以上実施し、最大値を記載した

メーカー	Apple社		Google社	Xiaomi社	Google社		LeEco社 (IBLeTV社)	Nokia社	ASUS社
製品名	MacBook (MF855TA/A)	MacBook (MK4M2LL/A)	Chromebook Pixel (2015)	Mi4c	Nexus 6P	Nexus 5X	X900+	N1	ZenPad 5.8.0
電圧 (V)	20	14.6	14.5	9	5	5	5	5	5
電流 (A)	1.2	1.9	1.9	1	2.5	1.5	1.5	1.5	1.1
電力 (W)	23.2	27.7	27.3	9	12.5	7.5	7.5	7.3	5.5

さらにこの 4 機種について、実際に USB PD のプロトコル（手順）に準じて充電しているかどうかを調べた。例えば、2 種類の MacBook の充電器（AC アダプター）は、いずれも供給できる電圧と電流の組み合わせとして、「5V/2.4A」、と「14.8V/2A」の 2 つをソース、つまり MacBook に通知した。MacBook は 14.8V/2A を要求して、実際にこの電圧、電流で充電が始まった。

Chromebook Pixel でも同様の手順を踏んでいた。つまり、MacBook と Chromebook Pixel は USB PD の手順に従って、充電時の電圧と電流を決めていたようだ。

これに対して Mi4c では、9V という 5V を超える電圧で充電しているものの、USB PD に従った手順を確認できなかった。Quick Charge を採用しているためだとみられる。実際、Mi4c 添付の説明書には、この端末と充電器は Quick Charge に対応する、と書かれていた。

この他、充電電圧が 5V と従来の USB と同じものでも、電流が 2.5A と大きい端末もあった。それが、Google 社のスマートフォン「Nexus 6P」（製造は中国 Huawei 社）である。Type-C Current では、5V で最大 5A まで供給できる。そのため、USB PD ではないものの、Type-C Current に対応した充電方法を実装したとみられる。

これら以外の機器の充電では、5V で 1~1.5A だった。Type-C Current の 1.5A または、USB3.1 のバスパワー 900mA で充電されたとみられる。以上が、試験 1 の結果である。

(4) は、X900+ の充電器で、Chromebook Pixel、MacBook (MF855TA/A) を充電した場合である。この充電器は、一方に Type-A コネクタ、もう一方には Type-C コネクタのケーブルが付属している。前者を充電器側に、後者を機器（被充電側）に挿す。

このケーブルには、USB PD の対応・非対応を判別する IC「E-marker」を搭載していない。E-marker とは USB PD に対応した認証ケーブルを、充電器が認識するための IC である。E-marker によって、充電器は急速充電に対応したケーブルが接続されたかどうかを確認する。

E-marker が無いケーブルの場合、被充電側は非認証ケーブルと判断して、リスク回避のために 1A を超えた電流での充電を行わない、DFP モードでの充電だと推定できる。実際、我々が所有する E-marker を搭載した USB ケーブルに置き換えた場合に、Chromebook Pixel や MacBook を、1A を超える電流で充電できた。つまり、充電器と被充電機器が USB PD に対応していたとしても、ケーブルが非対応品だと大きな電流での充電は実施されない。

(5) と (6) は、Google 社のスマートフォン Nexus 6P の充電器で起こっている。(5) の充電電流が 500mA 以下に制限されているのは、2 機種 of MacBook と組み合わせた場合である。この充電器で Nexus 6P 本体を充電すると、電流値は 1.5A だった。これは、Nexus 6P の充電器あるいは付属の USB ケーブルが、MacBook 側が期待する充電器やケーブルではないと判断し、最低限の電流しか引かないように意図的に制限したとみられる。

(6) は、Nexus 6P の充電器と MacBook (MF855TA/A)、フィンランド Nokia 社のタブレット端末「N1」の充電器と Chromebook Pixel の 2 つの組み合わせで確認できた。この場合には、充電器が 5V を出力しているにもかかわらず、被充電側が電流を全く引き込まない。この場合も、(5) と同様に被充電側が意図的に充電を止めていると考えられる。

(7) は、MacBook (2 機種) の充電器や Chromebook Pixel の充電器、Nexus 6P の充電器で N1 本体を充電しようとしたときに発生している。原因は、N1 が Type-C で定められた Rp を実装していないためだろう。充電器を接続した時に CC 端子の電圧を測定した結果から、そう判断できる。

こうした一連の試験では、安全性を確かめるために、充電中にケーブルを引き抜いたり、充電器（ACアダプター）のAC側のプラグを引き抜いたりした。だが、異常な発熱や破壊など危険な状態には陥らなかった。加えて、異なるメーカー同士の機器と充電器を組み合わせても、異常な充電や発熱、破壊は起こらなかった。そのため、Type-Cコネクタ搭載機器の充電では、2番目の試験の7つの結果のうち、充電できない（5）（6）（7）の場合に留意すべきである。

スマホに広がる急速充電「Quick Charge」、USB PDの仕様も変える

スマートフォン（スマホ）を中心に、米Qualcomm社の充電技術「Quick Charge」の採用が広がっている。最近では、携帯機器の2次電池を充電する「モバイルバッテリー」や、スマホと無線接続して操作するドローンなど、スマホの周辺機器でも採用されているという。Quick Chargeの2016年7月時点の最新仕様は「3.0」である。

Quick Chargeは、携帯機器の2次電池を急速充電するための技術である。そのため、従来のUSBのバスパワーよりも高い電圧で2次電池を充電する。2次電池の公称電圧と、充電時の電圧の差（「ヘッドルーム」）が大きいほど充電電流が大きくなり、短時間で充電できるからである。一般的なUSBのバスパワーの場合、1A未満であるが、Quick Chargeの「2.0」版であれば3Aほどで充電できるという。

特に、満充電に近くなるほど、高電圧での充電が威力を発揮する。スマホの2次電池の公称電圧は一般に3.7Vだが、3000mAh以上と大容量化が進み、満充電に近い状態では、公称電圧よりも高い4.4V前後で2次電池を充電しているという。

そこで、Quick Chargeの「クラスA」では5V、9V、12Vの3電圧、「クラスB」では5V、9V、12V、20Vの4電圧から充電電圧を選択していた。どちらを選ぶかは機器メーカーなどのQuick Chargeのユーザーにゆだねられるが、ほとんどのユーザーがクラスAを選択するという。中でも、9Vを選ぶ場合が多い。

電力制御ICと充電ICを利用可能

スマホの内部には、Quick Charge対応の電力制御ICが実装されている。同ICにより、充電器からの電力をDC-DC変換して、2次電池を充電する。例えば、**充電器から9Vの電力がUSBケーブルを通じてスマホに入力されると、これを4.4Vに降圧する。**

なお、この電力制御ICは2次電池の充電だけでなく、アプリケーションプロセッサ（AP）の電力制御やクロック生成など、さまざまな処理を担っている。

Quick Charge 3.0から、「INOV（Intelligent Negotiation for Optimum Voltage）」と呼ぶ手法を採用して、2.0版に比べて充電時間を短く、消費電力を削減できるようにした。INOVでは、充電電圧を3.6～20Vの範囲において200mV単位で調整できる。

USB のバスパワー充電の電圧 5V よりも低い電圧を選択できるようにした目的の 1 つは、充電部からの発熱を抑えることである。例えばスマホでゲームアプリを起動している場合、AP にかかる処理負担が大きくなり、発熱量が増える。このとき大きな電力で急速充電を実施すると、スマホ本体が許容している筐体温度を超える恐れがある。その場合は、5V よりも低い電圧を選び、充電部の発熱を抑制する。

最近では、**電力制御 IC とは別に、Quick Charge 用の充電 IC を用意し、両 IC をパラレル接続する場合**もある。これにより、内部抵抗を小さくして DC-DC 変換時の損失を小さくし、より短時間で満充電できるようにしている。

USB PD に 9V 充電を追加

Qualcomm 社は、「USB PD よりも絶対 Quick Charge」という考えではなく、どちらを利用するかは機器メーカーなどのユーザーに任せる姿勢だとする。実際、USB PD と Quick Charge の両方に対応した参照デザインも用意しているという。

そもそも、Qualcomm 社は USB PD 陣営でもある。同社は、2015 年秋に USB PD の仕様策定を行うグループに参画した。目的の 1 つは、USB PD に 9V の充電モードを追加することである。

前述したように、**スマホメーカーは Quick Charge において、9V を選択するケースが多い**。だが、USB PD では 2.0 版まで、電カプロファイルの電圧は 5V と 12V、20V で、9V はなかった。そのため、「スマホメーカーにとって USB PD はとっつきにくかった」（Qualcomm 社）という。そこで Qualcomm 社は、USB PD の仕様策定を行うグループに入り、9V の充電モードの仕様を新たに設けることを提案したという。その結果、**USB PD 3.0 において、9V 充電の導入**につながった。（根津 禎 = 日経エレクトロニクス）