SMBus 対応バッテリー残量計測 IC の開発

野中　智己（のなか　ともみ）　赤羽　正志（あかはね　まさし）　岩本　基光（いわもと　もとみつ）

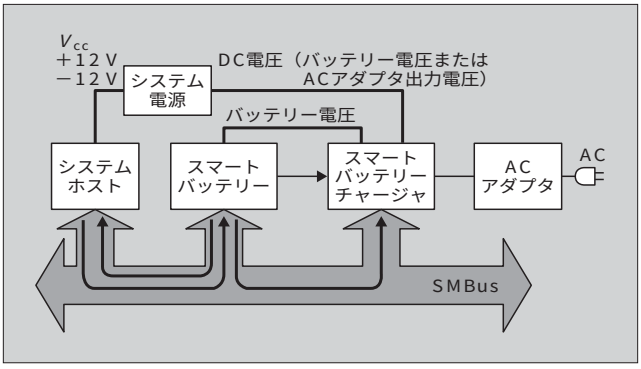
1　まえがき

近年，どこでもインターネットや電子メールのアクセスができるノートパソコンの需要が伸び，2001 年には国内のパソコン出荷台数の 50 %以上を占めている。これらノートパソコンには，ニッケルカドミウムやニッケル系二次電池に比べ軽量で長時間駆動ができるリチウムイオン二次電池が用いられている。しかしノートパソコンの高速化により低消費電力化が進まず，バッテリーで 2 ～ 3 時間しか使用できない。このため正確なバッテリー残量の表示が強く求められている。

バッテリーの電力と残量の管理に関して，従来各社が独自の仕様をベースにさまざまな電力管理システムを構成していたが，1994 年にインテル社と米国のバッテリーメーカーであるデュラセル社により，SMBus（System Management Bus）という統一規格が提唱され，SMBus の柱としてバッテリーの電力管理仕様である SBS（Smart Battery System）が開発された。SBS は，システムホスト，スマートバッテリー，スマートバッテリーチャージャなどのデバイスで構成され，これらのデバイスが SMBus を経由して情報を交換し，バッテリーの管理（充電，残量計測，保護など）を行うもので，現在この SBS が業界の標準仕様となりつつある（**図 1**）。

SMBus に対応したバッテリー残量計測 IC（Smart Battery IC：SBIC）の開発を行ったので概要を紹介する。

図 1　SBS（Smart Battery System）



2　SBIC の概要

SBIC は，ノートパソコンの 2 または 3 セル用リチウムイオンバッテリーパックに必要な残量計測・二次保護・通信機能をワンチップの IC で実現している。SBIC のチップ写真を**図 2** に示す。

SBIC の特徴は次のとおりである。

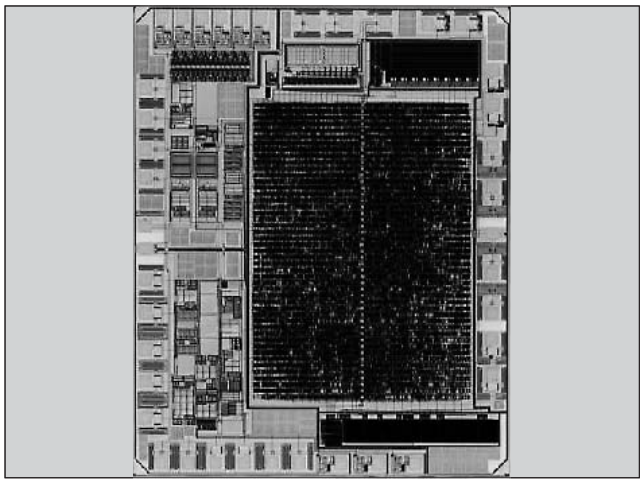
(1)　バッテリーの充放電電流を検出，積算することで充放電電気量を求め，それに電流値，温度により補正計算を行い，高精度（±1 %）なバッテリー残量表示を実現している。

(2)　バッテリーの過充電，過放電を監視し，異常時はアラームの出力とシステムホストへの通知ができる。

(3)　SMBus ver1.1 インタフェース（I/F）を搭載し，システムホストへ保護状態データや残量データの通知ができる。

(4)　内部回路の電源・クロック制御と低消費電流アナログ回路により低消費電流（125 μA typ.）を実現している。

図 2　SBIC のチップ写真



野中　智己

CMOS ディジタル IC の開発・設計に従事。現在，（株）富士電機総合研究所デバイス技術研究所。

赤羽　正志

電子機器の開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所デバイス技術研究所。

岩本　基光

電子機器の開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所デバイス技術研究所。

3　回路の構成と動作

3.1　回路構成

SBIC の内部構成を**図 3** に示す。各ブロックの機能は以下のとおりである。

(1)　マイクロコンピュータ（マイコン）＋ RAM ＋ ROM

SBIC 内の機能ブロックを制御し，バッテリー残量などの演算を行う。

(2)　SMBus 通信回路

SBS では，他のデバイスとの通信を SMBus で行う。本回路はマイコンが SMBus を通じて他のデバイスと通信を行うための回路である。

(3)　EEPROM　I/F 回路

残量計測を行うための参照データやバッテリー残量データを外部の EEPROM に格納している。マイコンは本回路を通じて EEPROM にアクセスし，データの入出力を行う。

(4)　AD 変換回路（ADC）

マイコンからの定周期指令でバッテリー電圧を計測する。

(5)　VF 変換回路（VFC）

定周期でバッテリー電流の積算値を計測する。マイコンはこの値を参照してバッテリー残量を演算する。

(6)　電　源

バッテリーから IC 内に供給する電源を生成している。

(7)　OSC1 ＋ OSC2

バッテリー残量を演算するには正確な周波数のクロックが必要であり，これには時計用水晶（32.768 kHz）を使って生成している。マイコンなどのロジック回路を駆動するためのクロックはこれとは別のリングオシレータ（発振周波数 500 kHz）で生成している。

3.2　回路動作

図 4 にマイコンの動作スケジュールを示す。

マイコンが動作している状態をラン状態，待機している状態をアイドル状態と呼ぶ。ラン状態の動作は大きく分けて次の二つがある。

(1)　一定周期でバッテリー電圧・電流を測定し残量演算を行う。

(2)　他のデバイスと SMBus を介して通信を行う。

(1)は一定周期ごとに行い，(2)は他のデバイスからアクセスがあった場合や，バッテリーが他のデバイスにアラームを出す場合など，必要に応じて行う。

これらの動作を行うとき以外はマイコンは動作する必要がないため，マイコンはクロック供給を停止させ，アイドル状態になって消費電流を低くした状態で待機している。

3.3　SBIC における低消費電流化技術

SBIC はバッテリーパックに内蔵されるため，低消費電流で動作する必要がある。以下に本 IC における低消費電流化技術の一部を説明する。**図 5** に，SBIC の状態遷移図を示す。

ラン状態からパワーダウン状態への遷移は，バッテリーが未接続状態でバッテリー電流を計測する必要がない場合や，バッテリーが過放電状態で電源として使用することができない場合に行われる。

図 6 に，電源・クロック制御部のブロック図を示す。

パワーダウン状態になると，バッテリーの消費を節約するためほとんどの回路ブロックへの電源供給を停止する。ただし，すべてのブロックへの電源供給を停止するとラン状態への復帰ができなくなるため，電源回路を二つ用意し，片方（**図 6** の電源 1）は復帰条件監視回路のみを駆動し，もう片方（**図 6** の電源 2）は復帰条件監視回路以外の回路を駆動するようにしている。電源 1 は常時動作し，電源 2 はラン・アイドル時のみ動作する。こうすることで，パワーダウン時の消費電流をきわめて低くしている。

本 IC ではこれ以外に，電源部や VFC 内の回路に低消費電流タイプのオペアンプを使用する，プログラムを格納する ROM のセンスアンプを間欠動作させるなどの低消費電流化技術を用いている。

図 3　SBIC の回路ブロック図

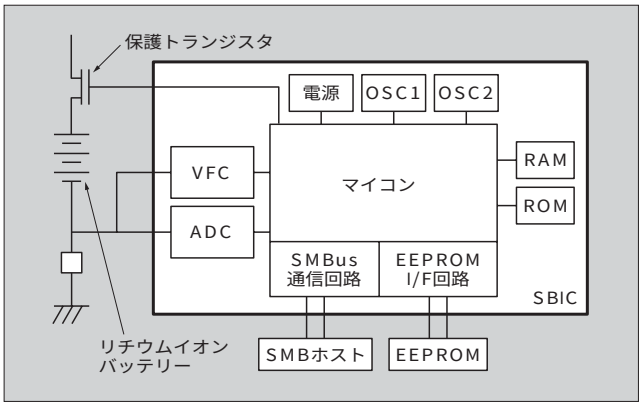


図 4　マイコンの動作スケジュール

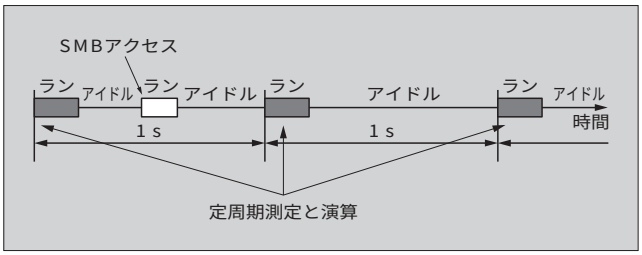


図 5　SBIC の状態遷移図

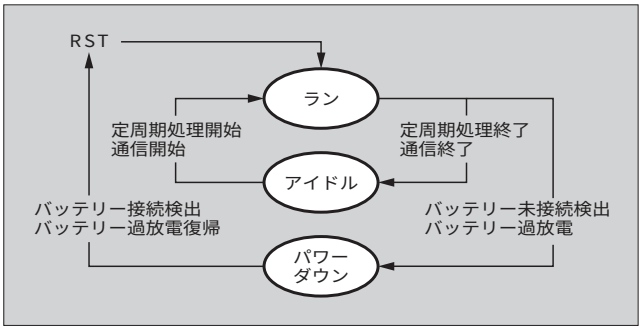


図６　電源・クロック制御部のブロック図

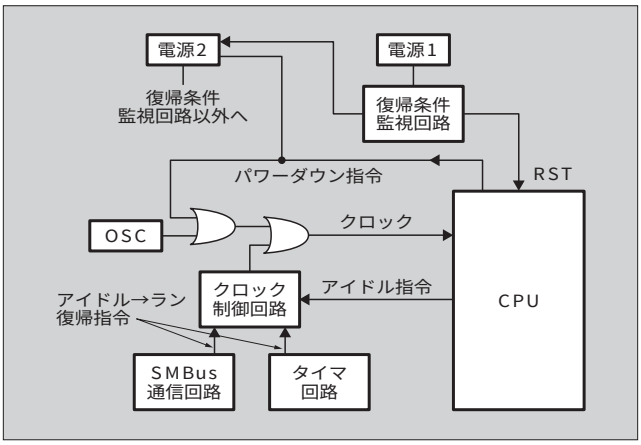
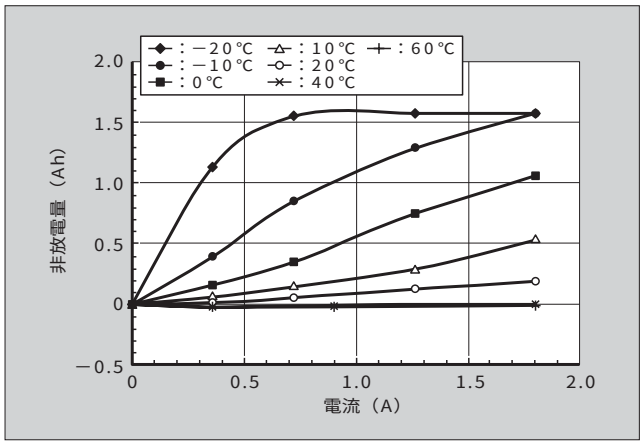


図７　温度・電流と非放電量との関係



4　残量計測プログラム

リチウムイオン二次電池の特性を把握し，その特性をもとに，独自のアルゴリズムを用いた SBIC 用残量計測プログラムを開発した。以下，リチウムイオン二次電池の特性，残量計測アルゴリズム，残量計測結果の順に述べる。

4.1　リチウムイオン二次電池の特性

リチウムイオン二次電池は，残量の減少に伴い電圧が低下する特性を持つ。しかし，バッテリーには内部抵抗があるため，電圧は流れる電流の大きさや温度で変化し，電圧から残量を推定することは難しい。ただし，電流が流れていない状態が数時間継続する（休止状態）と電圧が安定するため，休止状態の電圧から残量を推定することができる。

また，バッテリーが放電できる電気量（放電可能量）は放電条件（温度，電流）で異なるが，低温・大電流条件の放電後も標準条件（20 ℃，0.2 A）に戻すことででさらに放電を行うことができ，条件が変化してもこれらの合計放電量は一定である。つまり，バッテリーに蓄えられた電気量は常にすべて放電されるのではなく，放電条件に応じた放電できない電気量（非放電量）が存在する。この非放電量と温度・電流との関係を**図７**に示す。SBIC ではこれらの特性を利用することで残量補正を行い高精度な残量計測を実現している。

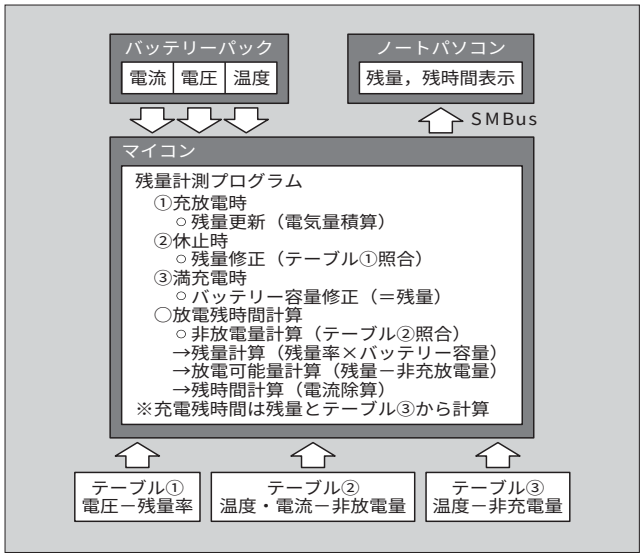
4.2　残量計測アルゴリズム

図８に今回開発した SBIC のプログラムを中心とした残量計測の機能ブロック図を示す。

テーブル①は休止状態の電圧と残量率（バッテリー容量に対する残量の割合），テーブル②は温度および電流と非放電量，テーブル③は温度と非充電量（バッテリーが充電できない電気量）との関係を数値化したテーブルである。

充放電時（通常動作時）は，充放電電流から求まる電気量の積算で残量を更新するが，ノートパソコンの電源をオフにした場合のような休止時には，バッテリー電圧とテーブル①から残量率を求めて残量を修正する。さらに，残量がバッテリー容量に近い状態になった場合（満充電時），バッテリー容量を残量に置き換えて修正する。

図８　残量計測の機能ブロック図



初期状態で SBIC の認識する残量と実際の残量とが異なっていた場合でも，この休止時の残量修正と満充電時のバッテリー容量修正が繰り返されることにより，SBIC の認識残量が次第に実際の残量に近づく。

また放電残時間は，残量とテーブル②から放電可能量を計算し，放電可能量を電流で除算する方法で求める（充電残時間は残量とテーブル③を用いて計算する）。

4.3　残量計測結果

SBIC による残量測定結果を**図９**に示す。

これは，定格容量 1.8 Ah のバッテリーを用い，初期残量 0.9 Ah（残量率 50 %）から，残量率が 100 %→50 %→100 %と変化するようにバッテリーの充放電を繰り返したときの，SBIC 内の認識残量と実際の残量の変化を見たものである。充放電を繰り返すたびに補正が行われ，最終残量（残量率 100 %）の測定精度は約 1 %で，良好な結果が得られている。

また**図10**は，0 ℃と 20 ℃でバッテリーを 1.8 A で放電さ

図９　残量測定結果

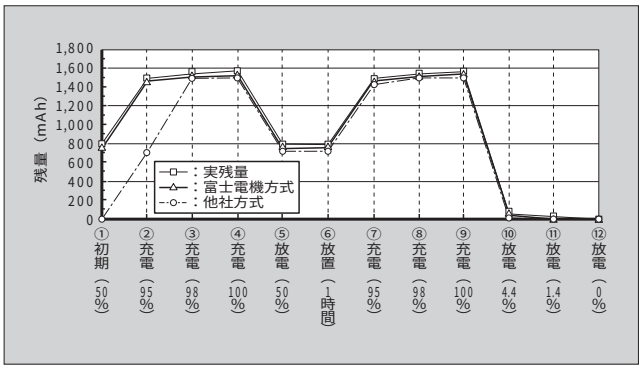
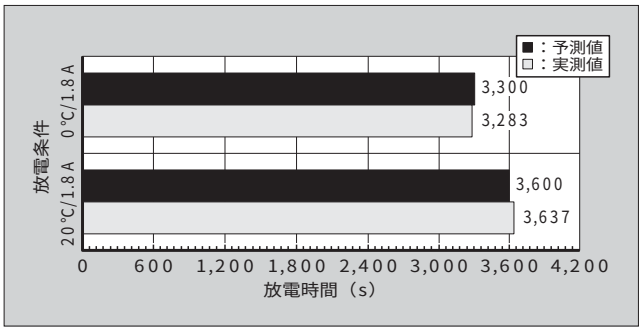


図 10　残時間測定結果



せたときの，SBIC による残量予測時間と実際の放電時間を比較した結果であるが，残量予測時間の誤差は 1 %以内と，非常に良好な結果が得られている。

5　テストの容易化

製品出荷前のテスト工程において，SBIC のようなアナログ・ディジタル混在回路では，テスト容易化設計なくしてはテスト時間の増大と複雑化を招き，場合によっては機能や性能の評価が十分できないこと（品質低下）もありうる。SBIC では三つの手段を組み合わせたテスト容易化設計を取り入れている。以下に，ATE（Automatic Test Equipment）を用いた SBIC のテスト方法を述べる。

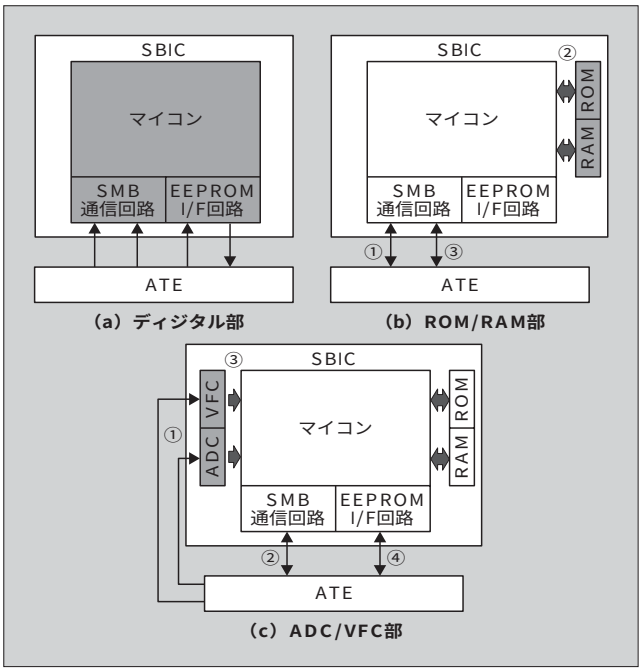
5.1　ディジタル部（マイコン，SMBus 通信回路，EEPROM-I/F 回路）

回路の約 6 割を占めるディジタル部はテスト合成ツールを利用してスキャンパス回路設計を行っており，ATPG（Automatic Test Pattern Generator）で生成された 98 %以上の故障検出パターンを利用してテストを行っている。テストに使用するピンは SMBus と EEPROM 通信用の端子を兼用することで，ピン数の増加を抑制している〔**図11**(a)〕。

5.2　ROM/RAM 部

ROM/RAM 部は，マイコンを利用した BIST（Built In Self Test）でテストを行っている。ATE が SMBus 通信を利用してマイコンに対しテスト命令を発行し〔**図11**(b)①〕，マイコンが ROM，RAM の自己診断を行う〔**図11**(b)②〕。診断結果は SMBus 通信を使い ATE が読み出し，デバイスの良否判定に用いる〔**図11**(b)③〕。

図 11　SBIC のテスト概要



5.3　ADC/VFC 部

ADC/VFC 部のテストは，ATE とマイコンが連携して行う。まず，ATE が該当するピンにアナログ値を設定し〔**図11**(c)①〕，マイコンに ADC または VFC のテスト開始命令を送ることで〔**図11**(c)②〕，マイコンが ADC または VFC のディジタル変換値を読み取り〔**図11**(c)③〕レジスタに値を保持する。保持された結果は通信経路を使い ATE が読み出し〔**図11**(c)④〕，期待値と比較して判定する。

6　あとがき

高精度なバッテリー残量計測と低消費電力を実現した SMBus 対応バッテリー残量計測 IC（SBIC）の概要を紹介した。

今後，ディジタルとアナログの特徴を生かした技術開発を行い，さらに市場が拡大すると予想される携帯情報機器をターゲットとしたパワーマネジメント用 IC の開発を行っていく所存である。

参考文献

(1)　Smart Battery Data Specification Rev.　1.1, 1998-12.
(2)　小澤秀清．二次電池駆動回路の基本構成と課題．電子技術．1999-11，p.9-17.
(3)　後藤正治ほか．特集 あなたの設計では出荷テストができません．Design Wave．2001-03，p.28-76.

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。