

## 2mm×2mm DFNパッケージの 小型マイクロパワー高精度 シリーズ・リファレンス

### 特長

- 出力コンデンサ不要
- 低ドリフト: 20ppm/°C(最大)
- 高精度: 0.2%(最大)
- 低消費電流
- 20mAの出力電流を保証
- 逆バッテリー保護機能
- IRリフローによるストレスが低い: 0.02%(標準)
- 電圧オプション: 2.5V、3V、3.3V、5V、10V
- LT1460の省スペース代替品
- 3ピン2mm×2mm×0.75mm DFNパッケージ

### アプリケーション

- 携帯用機器
- 高精度レギュレータ
- A/DおよびD/Aコンバータ
- 電源
- ハード・ディスク・ドライブ
- センサー・モジュール

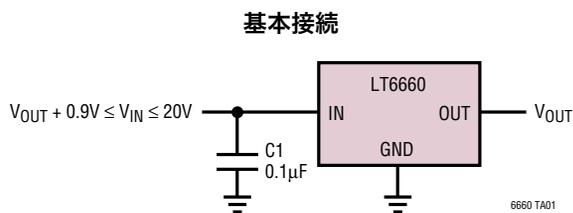
### 概要

LT<sup>®</sup>6660はマイクロパワー・シリーズ・リファレンス・ファミリのひとつで、低電力消費と超小型パッケージサイズで高精度と低ドリフトという2つの特長を兼ね備えています。これらのシリーズ・リファレンスは、曲率補償を使用して温度係数を低く抑えるとともに、レーザー・トリミングした精密薄膜抵抗を使用して高精度の出力を実現しています。LT6660は優れたライン・レギュレーション特性で最大20mAの電流を供給することができるので、高精度レギュレータ用に最適です。

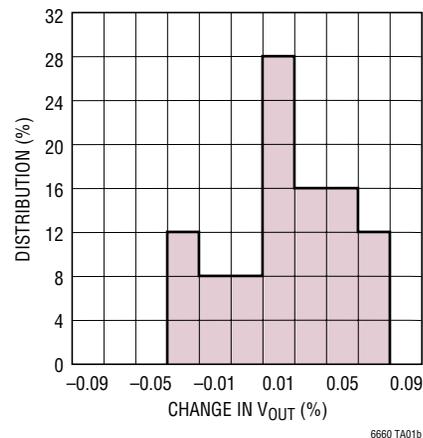
LT6660ファミリのシリーズ・リファレンスは、消費電流と電力消費の点でシャント・リファレンスよりも有利です。シャント・リファレンスを動作させるためには、全負荷電流にわたってアイドル状態を維持しなければならないからです。さらに、LT6660は出力補償コンデンサを必要としません。PCボードスペースに余裕がない、高速セトリングが求められる、本質安全アプリケーションのような合計容量を最低限に抑えなければならない、といったアプリケーションにおいては、このような特長が重要な役割を果たします。また、これらのリファレンスは逆バッテリー保護機能を備えているので、逆方向に電流が流れることはありません。

LT、LT、LTC、LTMは、リニアテクノロジー社の登録商標です。  
その他すべての商標の所有権は、それぞれの所有者に帰属します。

### 標準的応用例



LT6660HのIRリフローによるV<sub>OUT</sub>の変化

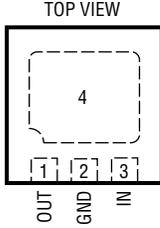


# LT6660

## 絶対最大定格 (Note 1)

入力電圧.....	30V	動作温度範囲 (Note 2) .....	-40°C~85°C
逆電圧.....	-15V	保管温度範囲 (Note 3) .....	-65°C~150°C
出力短絡時間、 $T_A=25^\circ\text{C}$ .....	5秒	リード温度 (半田付け、10秒).....	300°C
指定温度範囲.....	0°C~70°C		

## パッケージ/発注情報

 <p>TOP VIEW</p> <p>DC PACKAGE 3-LEAD (2mm x 2mm) PLASTIC DFN <math>T_{JMAX} = 125^\circ\text{C}</math>, <math>\theta_{JA} = 102^\circ\text{C/W}</math> EXPOSED PAD IS GND, MUST BE SOLDERED TO PCB</p>	ORDER PART NUMBER	DFN PART MARKING*
		LT6660HCDC-2.5
	LT6660JCDC-2.5	LBXN
	LT6660KCDC-2.5	LBXN
	LT6660HCDC-3	LBYV
	LT6660JCDC-3	LBYV
	LT6660KCDC-3	LBYV
	LT6660HCDC-3.3	LBYW
	LT6660JCDC-3.3	LBYW
	LT6660KCDC-3.3	LBYW
	LT6660HCDC-5	LBYT
	LT6660JCDC-5	LBYT
	LT6660KCDC-5	LBYT
	LT6660HCDC-10	LBYX
	LT6660JCDC-10	LBYX
	LT6660KCDC-10	LBYX

**Order Options** Tape and Reel: Add #TR  
Lead Free: Add #PBF Lead Free Tape and Reel: Add #TRPBF  
Lead Free Part Marking: <http://www.linear.com/leadfree/>

より広い動作温度範囲で規定されるデバイスについては、弊社へお問い合わせください。\*温度グレードは出荷時のコンテナのラベルで識別されます。

## オプション

OUTPUT VOLTAGE (V)	SPECIFIED TEMPERATURE RANGE	ACCURACY (%)	TEMPERATURE COEFFICIENT (ppm/°C)	PART ORDER NUMBER
2.5	0°C to 70°C	0.2	20	LT6660HCDC-2.5
2.5	0°C to 70°C	0.4	20	LT6660JCDC-2.5
2.5	0°C to 70°C	0.5	50	LT6660KCDC-2.5
3	0°C to 70°C	0.2	20	LT6660HCDC-3
3	0°C to 70°C	0.4	20	LT6660JCDC-3
3	0°C to 70°C	0.5	50	LT6660KCDC-3
3.3	0°C to 70°C	0.2	20	LT6660HCDC-3.3
3.3	0°C to 70°C	0.4	20	LT6660JCDC-3.3
3.3	0°C to 70°C	0.5	50	LT6660KCDC-3.3

オプション

OUTPUT VOLTAGE (V)	SPECIFIED TEMPERATURE RANGE	ACCURACY (%)	TEMPERATURE COEFFICIENT (ppm/°C)	PART ORDER NUMBER
5	0°C to 70°C	0.2	20	LT6660HCDC-5
5	0°C to 70°C	0.4	20	LT6660JCDC-5
5	0°C to 70°C	0.5	50	LT6660KCDC-5
10	0°C to 70°C	0.2	20	LT6660HCDC-10
10	0°C to 70°C	0.4	20	LT6660JCDC-10
10	0°C to 70°C	0.5	50	LT6660KCDC-10

電気的特性

●は全動作温度範囲の規格値を意味する。それ以外は $T_A = 25^\circ\text{C}$ での値。注記がない限り、 $V_{IN} = V_{OUT} + 2.5\text{V}$ 、 $I_{OUT} = 0$

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Output Voltage Tolerance	LT6660HCDC	-0.2		0.2	%
	LT6660JCDC	-0.4		0.4	%
	LT6660KCDC	-0.5		0.5	%
Output Voltage Temperature Coefficient (Note 4)	LT6660HCDC	●	10	20	ppm/°C
	LT6660JCDC	●	10	20	ppm/°C
	LT6660KCDC	●	25	50	ppm/°C
Line Regulation	$V_{OUT} + 0.9\text{V} \leq V_{IN} \leq V_{OUT} + 2.5\text{V}$	●	150	800 1000	ppm/V ppm/V
	$V_{OUT} + 2.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 20\text{V}$	●	50	100 130	ppm/V ppm/V
Load Regulation Sourcing (Note 5)	$I_{OUT} = 100\mu\text{A}$	●	1000	3000 4000	ppm/mA ppm/mA
	$I_{OUT} = 10\text{mA}$	●	50	200 300	ppm/mA ppm/mA
	$I_{OUT} = 20\text{mA}$	●	20	70 100	ppm/mA ppm/mA
Thermal Regulation (Note 6)	$\Delta P = 200\text{mW}$		2.5	10	ppm/mW
Dropout Voltage (Note 7)	$V_{IN} - V_{OUT}$ , $\Delta V_{OUT} \leq 0.2\%$ , $I_{OUT} = 0$	●		0.9	V
	$V_{IN} - V_{OUT}$ , $\Delta V_{OUT} \leq 0.2\%$ , $I_{OUT} = 10\text{mA}$	●		1.3 1.4	V V
Output Current	Short $V_{OUT}$ to GND		40		mA
Reverse Leakage	$V_{IN} = -15\text{V}$	●	0.5	10	$\mu\text{A}$
Output Voltage Noise (Note 8)	$0.1\text{Hz} \leq f \leq 10\text{Hz}$		4		ppm (P-P)
	$10\text{Hz} \leq f \leq 1\text{kHz}$		4		ppm (RMS)
Long-Term Stability of Output Voltage (Note 9)			100		ppm/ $\sqrt{\text{kHr}}$
Hysteresis (Note 10)	$\Delta T = 0^\circ\text{C}$ to $70^\circ\text{C}$	●	50		ppm
	$\Delta T = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$	●	250		ppm
Supply Current	LT6660-2.5	●	115	145 175	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
	LT6660-3	●	145	180 220	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
	LT6660-3.3	●	145	180 220	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
	LT6660-5	●	160	200 240	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$
	LT6660-10	●	215	270 350	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$

## 電気的特性

**Note 1:** 絶対最大定格の欄に示す値を超えるストレスがかかった場合は、デバイスが回復不能な損傷を受ける恐れがある。また、絶対最大定格状態が長時間続くと、デバイスの信頼性や寿命に悪影響を与える恐れがある。

**Note 2:** LT6660は、動作温度範囲-40°C~85°Cでの作動が保証されている。

**Note 3:** 指定温度範囲以外の温度で製品を保管した場合は、ヒステリシスによって出力値が変化することがある。

**Note 4:** 温度係数は、出力電圧の変化を指定温度範囲で除して求める。インクリメンタル・スロープも25°Cで測定する。

**Note 5:** ロード・レギュレーションは、無負荷状態から指定負荷電流までパルスに基づいて測定する。ダイ温度の変化による出力変化は個別に考慮する必要がある。

**Note 6:** 熱レギュレーションは、負過電流または入力電圧の変化から生じるダイの温度勾配によってもたらされる。通常のライン・レギュレーションまたはロード・レギュレーションには、これによる影響を加味しなければならない。このパラメータは100%テストされているわけではない。

**Note 7:** ロード・レギュレーション誤差は含まれない。

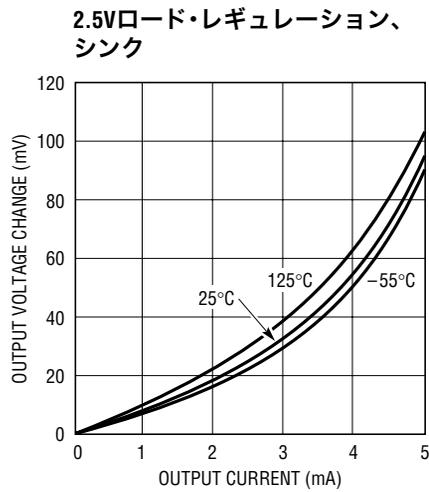
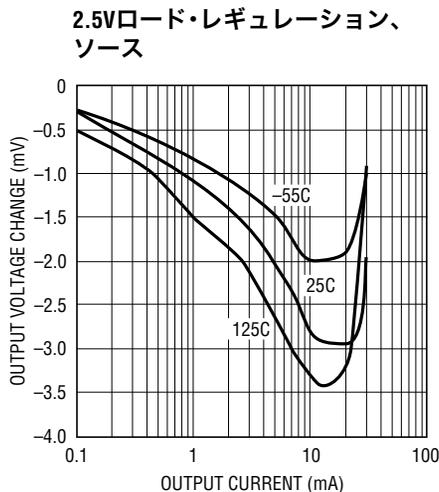
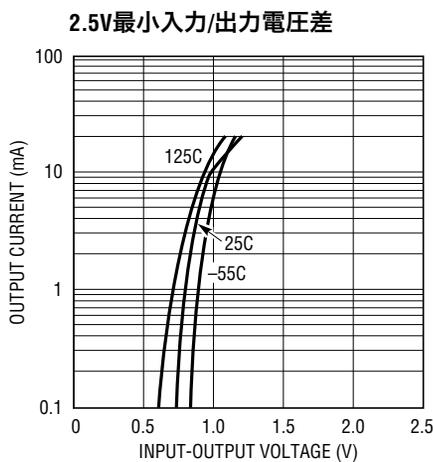
**Note 8:** ピーク・トゥ・ピーク・ノイズは、0.1Hzで単極ハイパス・フィルタを、10Hzで双極ローパス・フィルタを使って測定する。装置は熱電対効果を防ぐために静電気流環境下に置かれる。テスト時間は10秒。RMSノイズは、10Hzで単極ハイパス・フィルタを、1kHzで双極ローパス・フィルタを使って測定する。得られた出力は全波整流してから固定時間で積分し、RMSではなく平均値として最終的な測定値を求める。平均値からRMSへの変換には補正係数1.1を使用するが、フィルタのバンドパス特性は理想的なものではないので、さらに0.88という係数を使用する。

**Note 9:** 通常、長期安定性は対数特性を有しているため、1000時間以降の変動はそれ以前よりもはるかに小さくなる傾向がある。次の1000時間におけるトータル・ドリフトは、通常、最初の1000時間の1/3未満であり、ドリフトは時間経過に従って低下する傾向がある。長期安定性は、ボード・アセンブリ時にICとボード素材の間に生じるストレス差の影響も受ける。

**Note 10:** 出力電圧のヒステリシスはパッケージ・ストレスから生じる。パッケージ・ストレスは、それまでICが置かれていた温度環境によって異なる。出力電圧は常に25°Cで測定するが、ICは次の測定前に再び70°Cまたは0°Cの温度環境下に置かれる。ヒステリシスは、ほぼ温度変化の二乗に比例する。良好な温度管理(動作温度である20~30°C程度)の下に保管された機器については、ヒステリシスは問題とはならない。

## 標準的性能特性

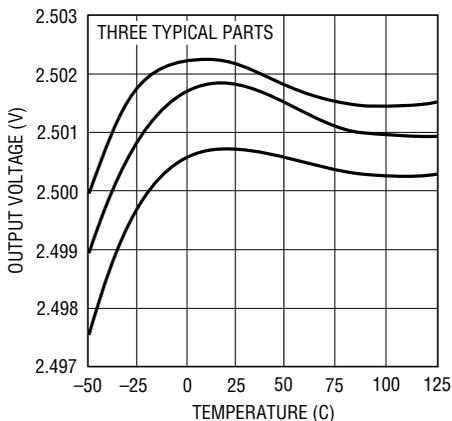
LT6660の特性曲線は、どの電圧オプションについても同様の傾向を示します。LT6660-2.5およびLT6660-10の曲線は最小電圧オプションと最大電圧オプションの特性を表わしています。他の電圧オプションの特性曲線はこれら2つの曲線の間位置し、その値は出力電圧から推定できます。



## 標準的性能特性

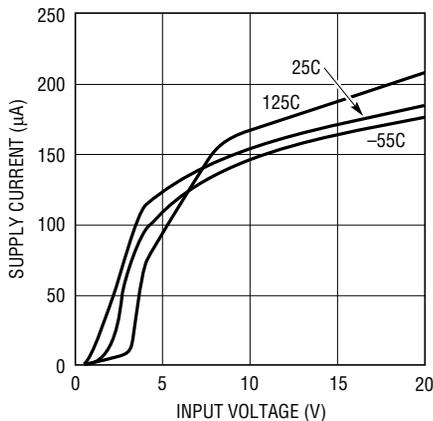
LT6660の特性曲線は、どの電圧オプションについても同様の傾向を示します。LT6660-2.5およびLT6660-10の曲線は最小電圧オプションと最大電圧オプションの特性を表わしています。他の電圧オプションの特性曲線はこれら2つの曲線の間中に位置し、その値は出力電圧から推定できます。

2.5V出力電圧温度ドリフト



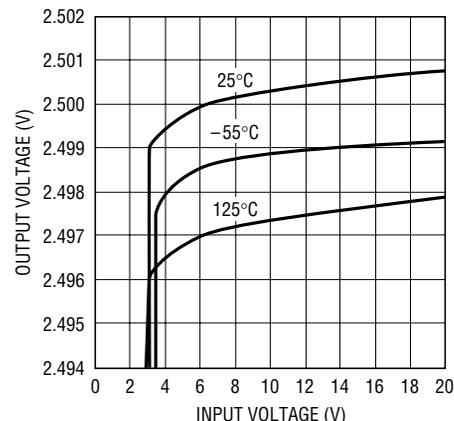
6660 G04

2.5V消費電流と入力電圧



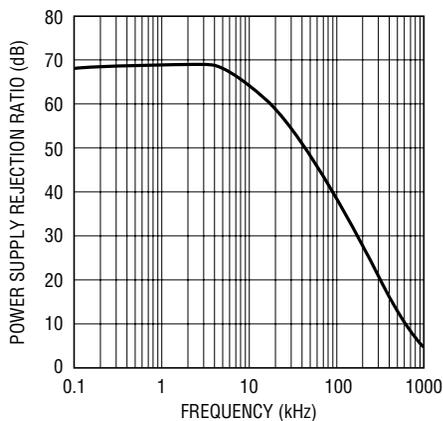
6660 G05

2.5Vライン・レギュレーション



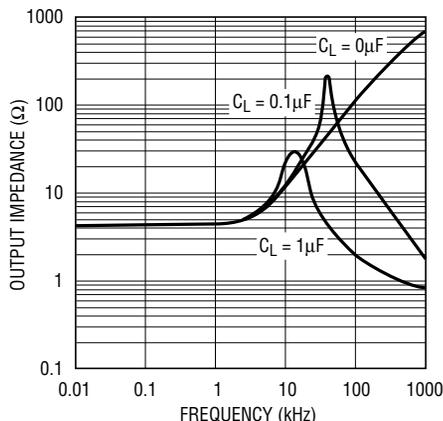
6660 G06

2.5V電源除去比と周波数



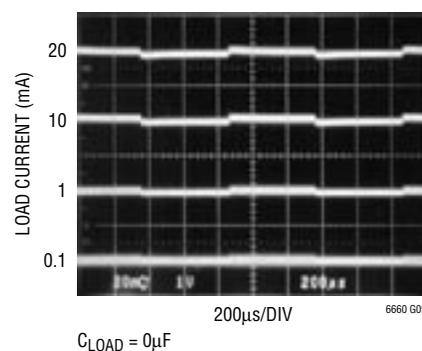
6660 G07

2.5V出力インピーダンスと周波数



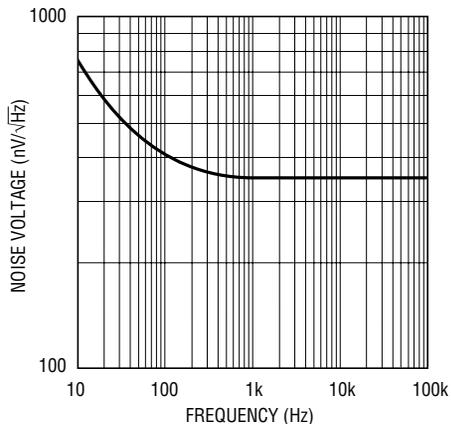
6660 G08

2.5V過渡応答



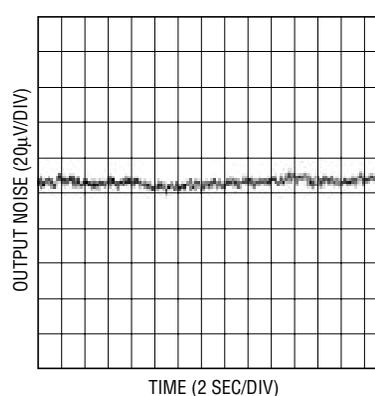
6660 G09

2.5V出力電圧ノイズ・スペクトル



6660 G10

2.5V出力ノイズ 0.1Hz~10Hz



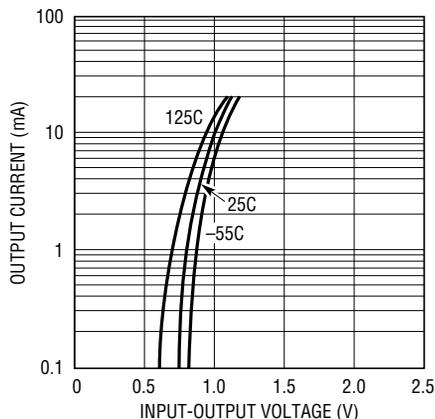
6660 G11

6660fa

## 標準的性能特性

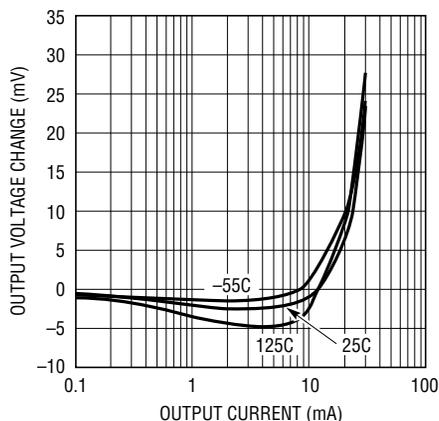
LT6660の特性曲線は、どの電圧オプションについても同様の傾向を示します。LT6660-2.5およびLT6660-10の曲線は最小電圧オプションと最大電圧オプションの特性を表わしています。他の電圧オプションの特性曲線はこれら2つの曲線の間位置し、その値は出力電圧から推定できます。

10V最小入力/出力電圧差



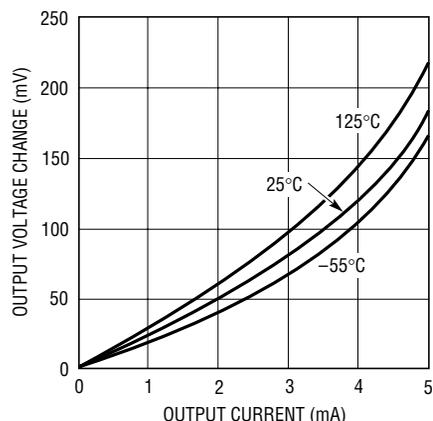
6660 G12

10Vロード・レギュレーション、ソース



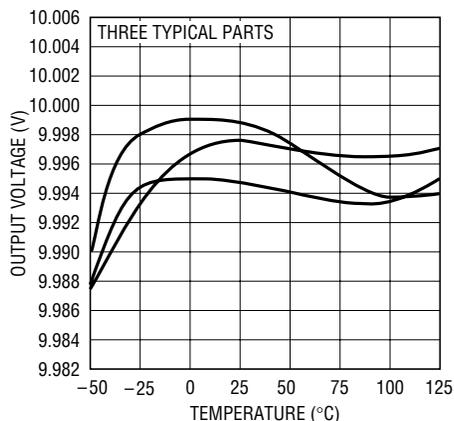
6660 G13

10Vロード・レギュレーション、シンク



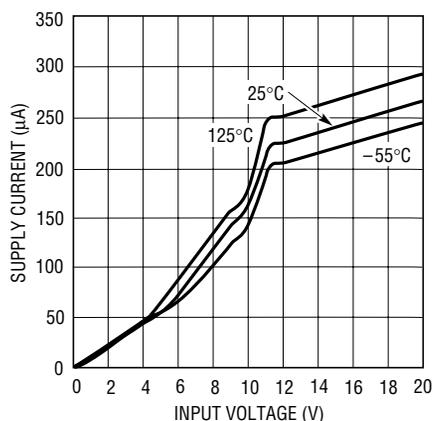
6660 G14

10V出力電圧温度ドリフト



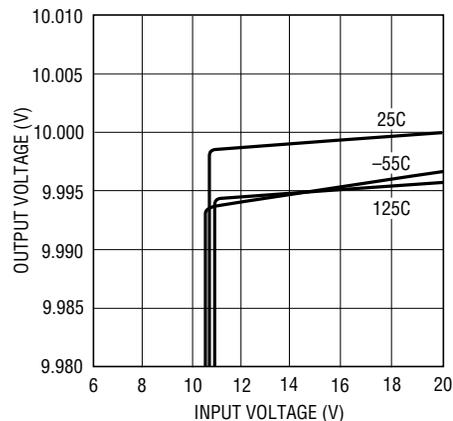
6660 G15

10V消費電流と入力電圧



6660 G16

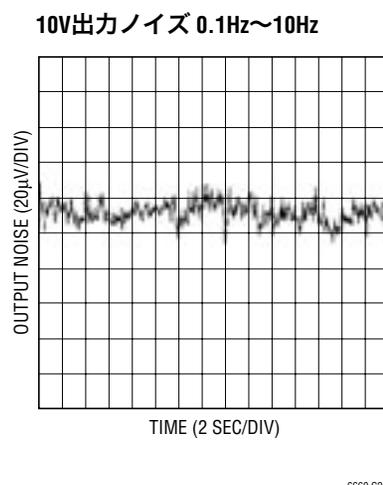
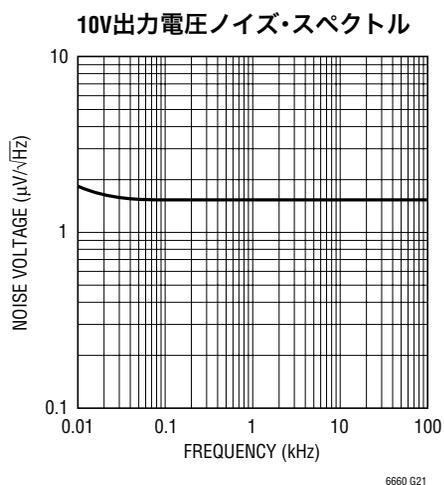
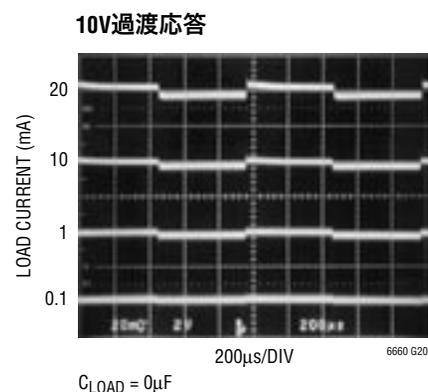
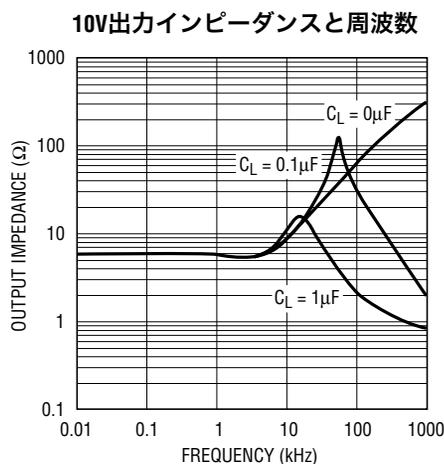
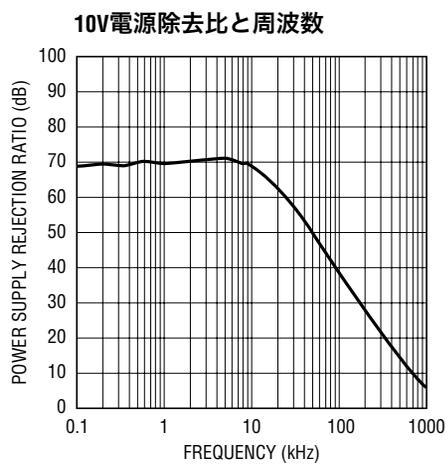
10Vライン・レギュレーション



6660 G17

## 標準的性能特性

LT6660の特性曲線は、どの電圧オプションについても同様の傾向を示します。LT6660-2.5およびLT6660-10の曲線は最小電圧オプションと最大電圧オプションの特性を表わしています。他の電圧オプションの特性曲線はこれら2つの曲線の間位置し、その値は出力電圧から推定できます。



## アプリケーション情報

### バッテリー寿命の延長

シリーズ・リファレンスには、従来のシャント式リファレンスに比べて大きな利点があります。シャント・リファレンスを使用するには電源抵抗が必要です。この抵抗は、安定化されている回路が必要とする最大電流を供給できるように選択する必要があります。シャント・リファレンスでは、被制御回路がこの最大電流で動作していないときでも常にこの電流をシンクしなければならないため、消費電力が大きくなり、バッテリー寿命も短くなります。

LT6660シリーズ・リファレンスは電流設定抵抗を必要とせず、 $V_{OUT} + (0.9V \sim 20V)$ の任意の電源電圧で作動させることができます。安定化されている回路が電流を必要としないときにはLT6660の消費電力も小さいので、バッテリー寿命が伸びます。リファレンスが負過電流を供給しない場合は数mWの電力しか消費しませんが、安定化されている回路が必要とする場合は、接続を変更することなく20mAの負過電流を供給することができます。

### 容量性負荷

LT6660ファミリのリファレンスは、広範囲の容量性負荷に対して安定を保つことができるように設計されています。容量性負荷がない場合、これらのリファレンスは、高速セトリングが求められる場合やPCボードスペースに余裕がない場合に最適です。図1のテスト回路は、さまざまな負過電流や負荷容量の応答時間と安定性の測定に使用します。この回路は2.5Vオプション用に設定されています。その他の電圧オプションについては、入力電圧をスケールアップして、出力電圧ジェネレータのオフセット電圧を調整する必要があります。2.5Vから1.5Vまでの1Vステップは、 $R_L = 100\Omega$ または $R_L = 1k$ の抵抗値に対し、それぞれ10mAまたは1mAの電流ステップを発生させます。図2に、これら1mAおよび10mAの負荷ステップに対するリファレンスの応答を示します(負荷容量がない場合)。図3は、0.1 $\mu F$ の出力コンデンサを取り付けた場合の、1mAおよび10mAの負荷ステップを示したものです。また、図4は、 $C_L = 1\mu F$ および $C_L = 4.7\mu F$ の時の1mA負荷ステップ応答です。

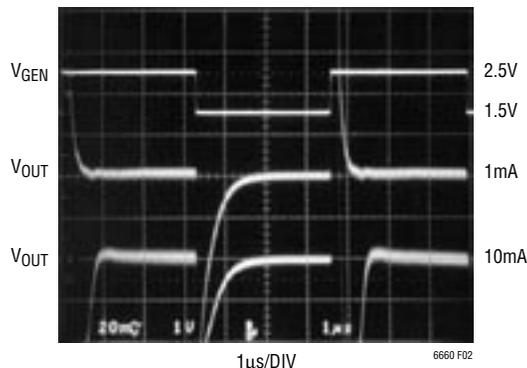


図2.  $C_L = 0\mu F$

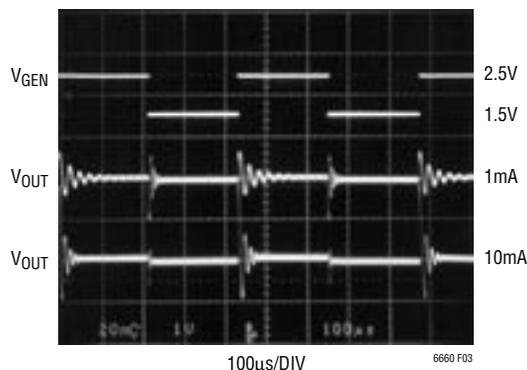


図3.  $C_L = 0.1\mu F$

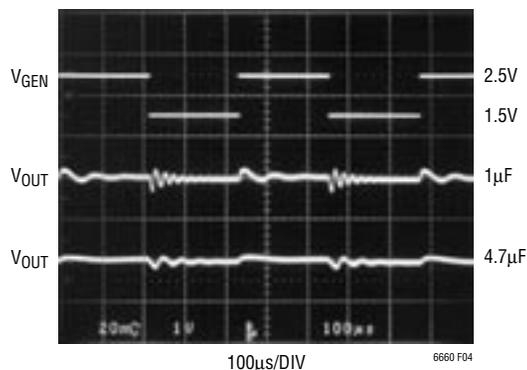


図4.  $I_{OUT} = 1mA$

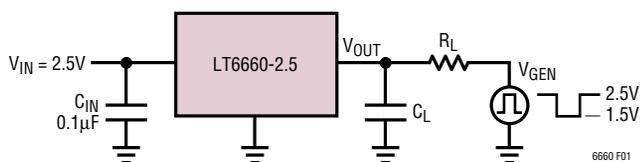


図1. 応答時間テスト回路

## アプリケーション情報

表1に、さまざまな負荷電流および出力電圧に対する最大出力容量を示します。容量は、不安定な挙動を避けるために使われます。低ESR (Effective Series Resistance: 等化直列抵抗) の負荷容量は、有極性アルミニウム・コンデンサやタンタル・コンデンサなどの高ESRの負荷容量よりも多くのリングングを発生させます。

表1. 最大出力容量

VOLTAGE OPTION	I <sub>OUT</sub> = 100μA	I <sub>OUT</sub> = 1mA	I <sub>OUT</sub> = 10mA	I <sub>OUT</sub> = 20mA
2.5V	>10μF	>10μF	2μF	0.68μF
3V	>10μF	>10μF	2μF	0.68μF
3.3V	>10μF	>10μF	1μF	0.68μF
5V	>10μF	>10μF	1μF	0.68μF
10V	>10μF	1μF	0.15μF	0.1μF

### 長期ドリフト

加速高温テストから長期ドリフトを予想することはできません。加速テストは誤差が大きく、かなり楽観的な結果しか得られません。長期ドリフトを決定する唯一の方法は、実際に予想対象期間にわたって測定を実施することです。LT6660の長期ドリフト・データは、実際の使用環境と同様にしてPCボードに半田付けされた100個以上の製品を使用して得られたものです。これらのボードをT<sub>A</sub> = 30°Cに維持されたオープン内に置き、8.5桁のDVMを使用して出力を定期的にスキャンして測定しました。図5に、LT6660の標準的な長期ドリフトを示します。

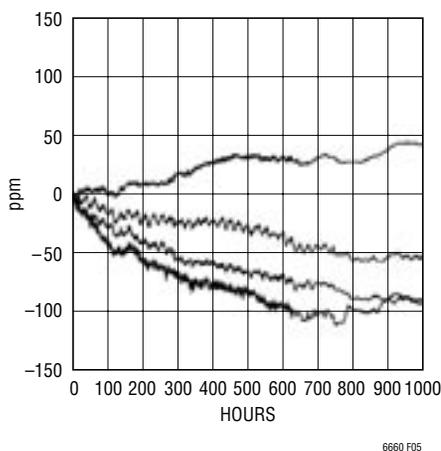


図5. 標準的長期ドリフト

### ヒステリシス

図6と図7のヒステリシス・データは、0°C~70°Cおよび-40°C~85°Cの温度範囲に置かれた部品のうち最悪のケースを示したものです。このときの出力は、比較的大きな電力消費を招く可能性があります。すなわち、LT6660-2.5の場合、P<sub>D</sub> = 17.5V • 20mA = 350mWとなります。DFNパッケージの熱抵抗は102°C/Wで、この値に基づく内部温度上昇値は36°Cです。この温度上昇によって熱ヒステリシスが生じ、さらにこれによって出力が変化します。高精度アプリケーションにおいて最大限の性能を得るためには、LT6660の接合部温度が85°Cを超えないようにする必要があります。

### 入力容量

LT6660の入力ピンには、0.1μF以上のコンデンサを追加することを推奨します。これによって、大きな負荷電流を必要とする場合の安定性を向上させることができます。

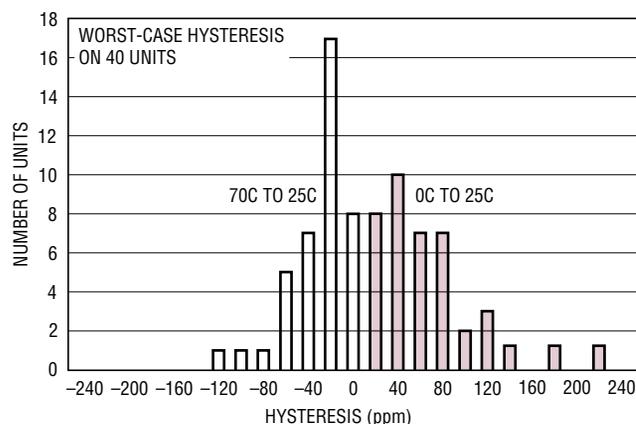


図6. 0°C~70°Cのヒステリシス

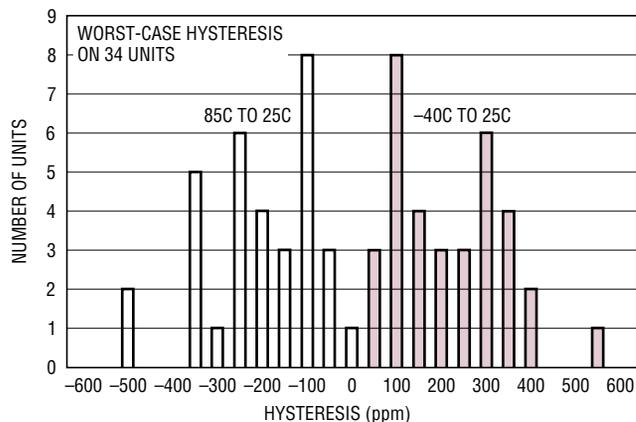


図7. -40°C~85°Cのヒステリシス

## アプリケーション情報

### 出力精度

シリーズとシャントの両方を含む他のすべてのリファレンス同様、LT6660の誤差は、主に3つの要素からなっています。すなわち、初期精度、温度係数、およびロードレギュレーションです。ラインレギュレーションは150ppm/V程度に過ぎないので、これは無視できます。また、PCBへの半田付けによるLT6660の特性変化は0.02%程度なので、これも無視できます。負荷100 $\mu$ A、温度範囲0 $^{\circ}$ C $\sim$ 70 $^{\circ}$ Cの場合の出力誤差は、以下の要領で算出します。

#### LT6660HCDC

初期精度=0.2%

$I_{OUT}=100\mu A$  とすると

$$\Delta V_{OUT}=(4000\text{ppm/mA})(0.1\text{mA})=0.04\%$$

温度0 $^{\circ}$ C $\sim$ 70 $^{\circ}$ Cにおける最大 $\Delta T=70^{\circ}$ C

$$\Delta V_{OUT}=(20\text{ppm}/^{\circ}\text{C})(70^{\circ}\text{C})=0.14\%$$

最悪ケースの合計出力誤差は：

$$0.2\%+0.04\%+0.14\%=0.380\%$$

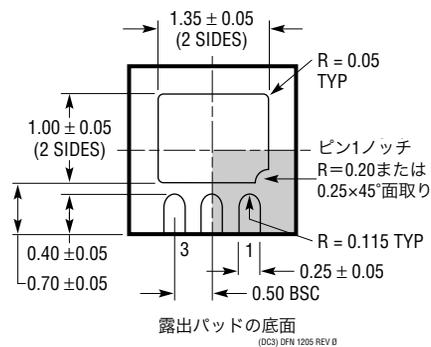
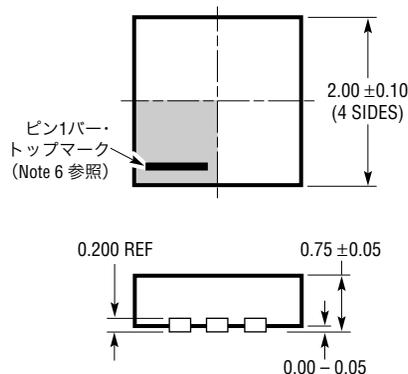
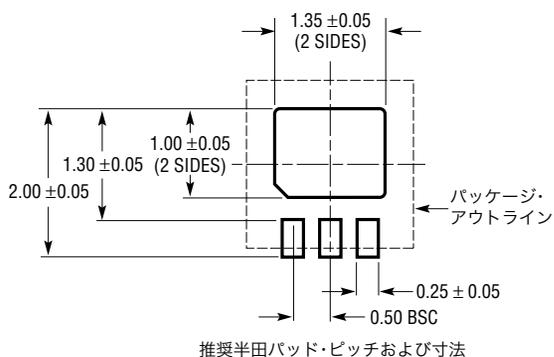
表2は、温度範囲0 $^{\circ}$ C $\sim$ 70 $^{\circ}$ CにおけるLT6660HC、LT6660JC、LT6660KCの最悪条件での精度を示したものです。この表から、レギュレータではなくLT6660HCをリファレンスとして使用した場合は、全温度範囲にわたり、システム較正を行うことなく8ビットの絶対精度を実現できることが分かります。

表2. 所定温度範囲における最悪条件での出力精度

$I_{OUT}$	LT6660HCDC	LT6660JCDC	LT6660KCDC
0 $\mu$ A	0.340%	0.540%	0.850%
100 $\mu$ A	0.380%	0.580%	0.890%
10mA	0.640%	0.840%	1.15%
20mA	0.540%	0.740%	1.05%

パッケージ寸法

DCパッケージ  
3ピン・プラスチックDFN(2mm×2mm)  
(Reference LTC DWG # 05-08-1717 Rev 0)



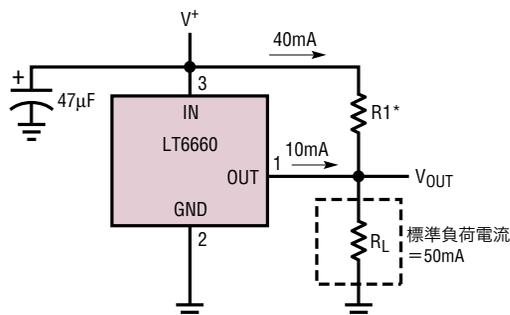
注:

1. 図はJEDECパッケージ・アウトラインMO-229のバリエーションW-TBDに含めるよう提案されている。
2. 図は実寸とは異なる。
3. すべての寸法はミリメートル。
4. パッケージ底面の露出パッドの寸法にはモールドのバリを含まない。  
モールドのバリは(もしあれば)各サイドで0.15mmを超えないこと。
5. 露出パッドは半田メッキとする。
6. 網掛けの部分はパッケージのトップとボトムのピン1の位置の参考に過ぎない。

# LT6660

## 標準的応用例

### より高い負荷電流の処理

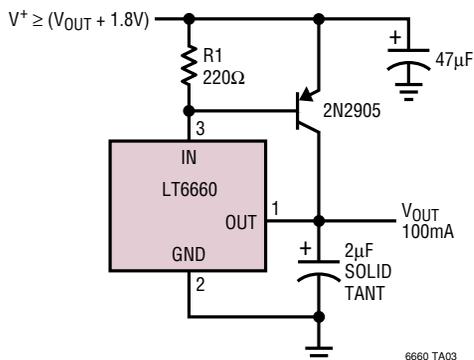


\* 標準負荷電流の80%を供給するようにR1を選択する。この場合、LT6660は必要に応じて電流をソースし適切な出力を維持する。出力が安定化されていない高い電圧になるので、負荷を取り除いてはならない。このアプリケーションでは、ラインレギュレーションが低下する。

$$R1 = \frac{V^+ - V_{OUT}}{40mA}$$

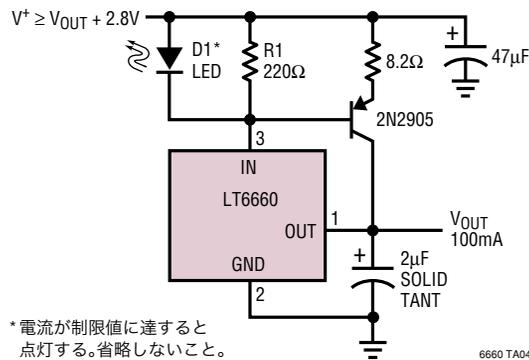
6660 TA02

### 電流制限なし出力電流増幅



6660 TA03

### 電流制限付き出力電流増幅



\* 電流が制限値に達すると点灯する。省略しないこと。

6660 TA04

## 関連製品

製品番号	概要	備考
LT1019	高精度バンドギャップ・リファレンス	最大0.05%、最大5ppm/°C
LT1027	高精度5Vリファレンス	0.02%、最大2ppm/°C
LT1236	高精度低ノイズ・リファレンス	最大0.05%、最大5ppm/°C、SOパッケージ
LT1460	マイクロパワー・シリーズ・リファレンス	最大0.075%、最大10ppm/°C、出力電流20mA
LT1461	マイクロパワー・高精度低損失	最大0.04%、最大3ppm/°C、出力電流50mA
LT1634	マイクロパワー・高精度シャント・リファレンス1.25V、2.5V出力	0.05%、最大25ppm/°C
LT1790	マイクロパワー・高精度シリーズ・リファレンス	最大0.05%、最大10ppm/°C、電源電流60µA、SOT23パッケージ
LTC®1798	マイクロパワー・低損失リファレンス、固定式または可変式	最大0.15%、40ppm/°C、最大消費電流6.5µA

6660fa

12

リニアテクノロジー株式会社

〒102-0094 東京都千代田区紀尾井町3-6秀和紀尾井町パークビル8F  
TEL 03-5226-7291 • FAX 03-5226-0268 • www.linear-tech.co.jp

0406 REV A  
LINEAR TECHNOLOGY

© LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION 2006