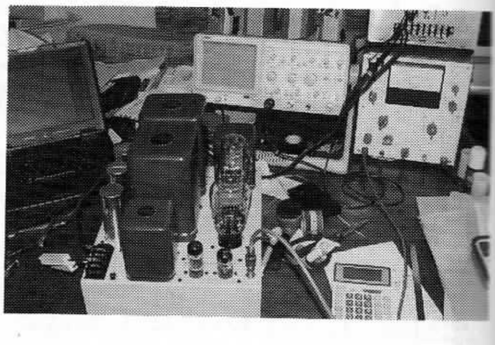
300Bロードラインの考察

300Bプッシュプルの動作条件と出力特性

中澤弘光 Nakazawa Hiromitsu



1999年11月号に発表した「300Bpp 40W モノーラルパワーアンプ」は，従来 MJ 誌上などで紹介された出力 25W 程度の 300Bpp をはるかに上回る 40W という定格出力で設計したため，多くの読者から驚きの声を持って迎えられた．しかし 300B の定格からの動作特性を割り出すと，AB 級プッシュプルで 40 W 出力はかなり楽な動作であることがわかる．そこで，製作例が多い割に動作条件の解説が少ない 300B のプッシュプル動作について，負荷抵抗やプレート電圧を変えるなどいくつかの動作条件を示し，今後 300B プッシュプルアンプを製作しようと考えている方々の参考となるようにまとめてみた．

300B プッシュプルで 40W は無謀か？

本誌11月号の 300Bpp アンプについては「こんな大出力では真空管がもたないとか，300B でそんなに出るわけがない」という理解に苦しむ意見も聞かれた．しかし寿命の問題をいえば，アイドリング電流が 60mA で定格の75%， 40W 出力時でも80%に収めているアンプで 300B がすぐ駄目になったとしたら，それは元々不良品であり，本機よりアイドリング電流が多いA級で使ったらもっと短時間で駄目になるだろう．まともな 300B ならば本機の使用条件で少なくとも 5 年や10年は楽に保つはずである．

ところで11月号が出たあとになって気がついたので申し訳ないが， 300B のプレート損失を 35W と記したが，これは 36W の間違いであった．規格表の文字が小さくて 35W と読み取ったのが原因である．

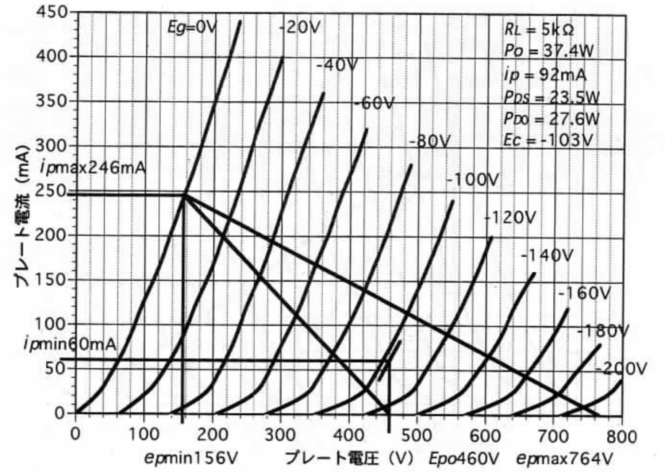
ちなみに，過去の製作記事などで紹介されている 300B プレート損失は 40W であるが，それに対して 36W という数値の出所をご紹介したい．まず 40W と言う数値は絶対最大定格値である．WEの規格表には “not simultaneous rating” とも注記されている．これに対して WEのサーヴィスマニュアルには，“Maximum rating, Design center values” つまり最大設計中心値としてプレート損失 36W，プレート電圧 400V， プレート電流 100mA と記載されている．これはつまり設計の際は 36W の採用をお薦めするという意味である．こうしたデータから判断すると，設計には 36W を基準にしておいた方が無難ではないだろうか．表 1 に定格を示す．

ほとんど知られていない 300B の動作特性

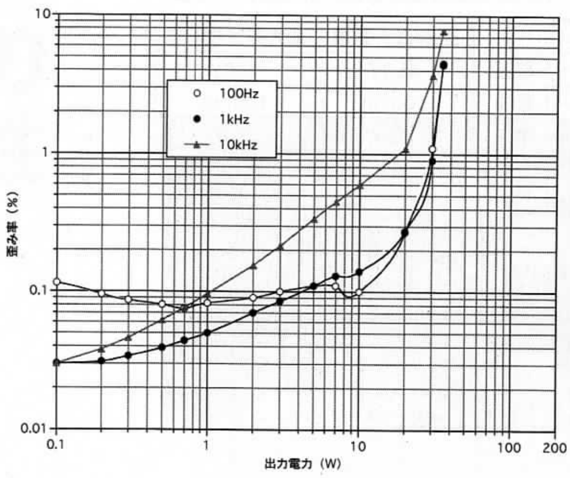
多くの方々が 40W の出力でびっくりしたということは，要するに 300B アンプは何台も作ったけれど肝心の特性はじっくりと確認していないということであろう．11月号でもまず始めにロードライン図を示したのだが，見られていないのかもしれない．

ところで設計中心値 36W 前後の出力管を他に探すと，6550， KT88， EL156， カラー TV 用水平出力管などがあるが，これらが 50～60W を楽に出せることを考えただけでも 300B の実力に思いが及ぶはずである．

そこでこのような誤解が一般的になってしまった原因を調べてみたが，驚くべきことに 300B アンプの設計に必要な動作特性データが，私の調べた範囲ではここ20年間雑誌に発表されていないということに行き当たった．つまり E_p-I_p 特性からロードラインを引いてバイアス設定やプレート損失の計算を行っている記事が一つもないのである．11月号で示したロードライン図は同号の柳沢正史氏とともに最近の MJ 誌では久しぶりの 300B の動作特性図である．



[図3]　300Bpp R_L　5kΩ時のロードライン



[図4]　300Bpp R_L　5kΩ時の歪み率特性

特性の最適値の範囲が狭くなるので，ほどほどのところで止めておいた方がよい．目安としては 40～45mA くらいであろうか．

一方，自由に選べるといっても，アイドリングをあまり増やすのは止めた方がよい．その理由は，プレート損失の範囲内であっても，アイドリング電流のばらつきが増大し，本機のバイアス回路ではプッシュプルのDCバランスが完全に取りきれなくなるからだ．増やす場合でも65mAが限度であろう．

2.　A級プッシュプル動作

今度はこれまでたびたび登場しているA級ppの動作例をご紹介する．**図5**は E_p 360V，E_{g_0} -75V，R_L 2.6kΩ のシングル動作で作図したロードラインである．プッシュプルに換算するには R_L と出力を2倍にすればよい．出力は9.2Wだからプッシュプルでは 18.4W となるが，実際には歪み率数%で 20 W以上出るし，バイアス電圧もやや深くなる．

図6はA級シングル11.6Wのロードラインで，これもプッシュプルにすれば 25W 以上は取り出せるが，プレート損失は最大定格ぎりぎりである．なおA級動作時の無信号時プレート損失は，プレート電圧×プレート電流だから，定格に比べてどれだけ余裕があるかを簡単に計算できる．400Vで100mAならば 40W というわけである．A級動作では出力計算よりも動作時のプレート損失が何Wかを一番先に確認しておくべきだろう．

なお，ドライブ段と出力段をCR結合にすると，最大出力に近づくにつれグリッド電流がバイアスを深くするように働くのでAB級動作に移行し，出力はA級動作より若干増える．一方，ドライブ段をカソードフォロワーかイントラ方式にした場合は，バイアス電圧の変化はないのでA級から変化しない．

これはCR結合ではA級動作を維持できないということであるが，だからといってCR結合が駄目だという意味ではない．ドライブ方式によってこうした差異があることを知っておけば目的によって使い分けられる．

3.　300Bppで最大出力を狙う

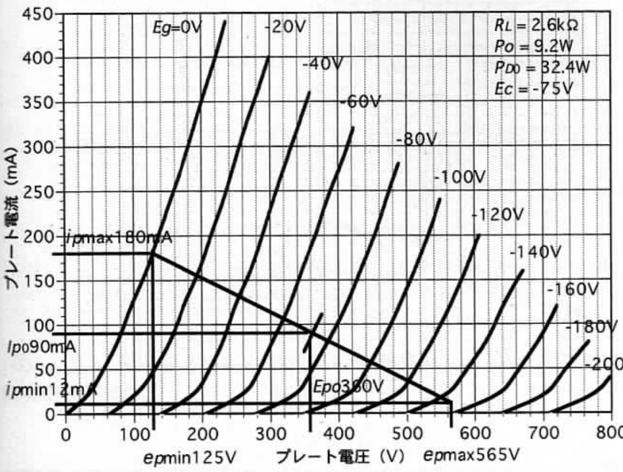
この項の最初の説明で 40W 程度の出力ではまだ余裕があることがおわかりいただけたと思うが，今度は定格一杯では何W出せるかを作図してみた．

図7は出力50W時，**図8**は60W時のロードラインで，両方ともアイドリング電流は50mAに抑えている．R_L は 3.5kΩ では $i_{p\,max}$ 値が増えすぎてしまうので4kΩ前後にした方がよい．

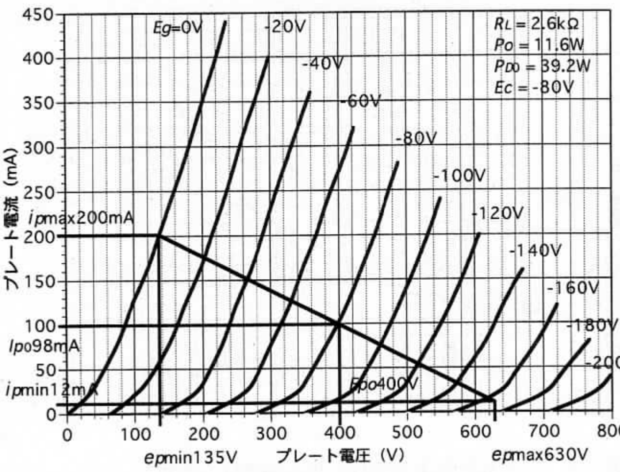
これによると 50W でも余裕十分であることがわかるが，一方，60W時での最大信号時平均プレート損失は36Wとわずかに下回っているが，WEの設計中心値36Wぎりぎりの値である．

また，最大信号時の平均プレート電流は制限値の100mAからあまり逸脱しない120mAとし，必然的にプレート電圧を高めて540Vをかける．これは最大定格を90Vオーバーしているが，電極間の距離など内部構造を見る限り問題なさそうである．

また，プレート電流値についてはA級動作と異なり出力40W時でも100mA前後なので，多少のオーバーは無視できる．通常の試聴レベルならば50～60 mAで，A級よりはるかに楽な動作である．しかし



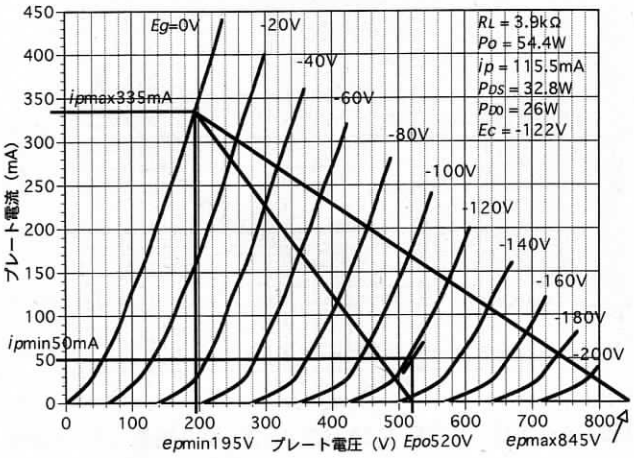
[図5]　300B シングル出力 9.2W のロードライン
(プッシュプルでは R_L と Po を2倍にする)



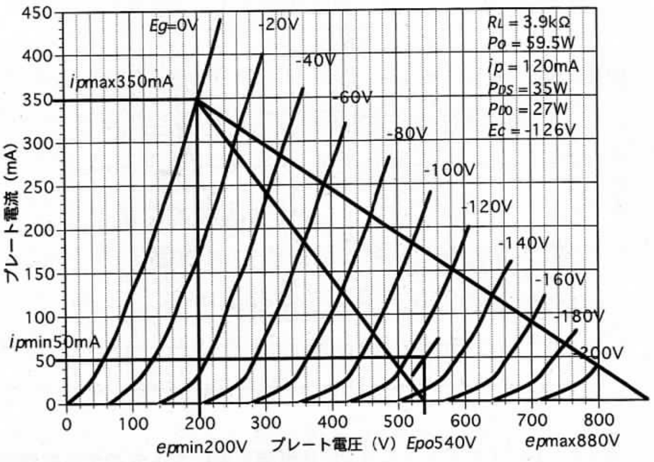
[図6]　300B シングル出力 11.6W のロードライン
(プッシュプルでは R_L と Po を2倍にする)

このくらいの出力になるとドライブ電圧の心配をしなければならない.

なお, **図7**, **図8** のデータは実験値ではなく, 机上の計算値であり, 健康な **300B** ならば寿命の点は別としてここまで使えるであろうという程度に受け取っていただきたい. 最大定格時のプレート損失が 40W といってもしょせん古典直熱管であり, 近代管の **6550** や **KT88** と同列に扱うのには無理がある. 具体的には11月号に示した出力 40W, つまり最大出力時無信号時のプレート損失を 30W 以下に設定する動作あたりが上限ではないだろうか.



[図7]　300Bpp AB 級 50W のロードライン



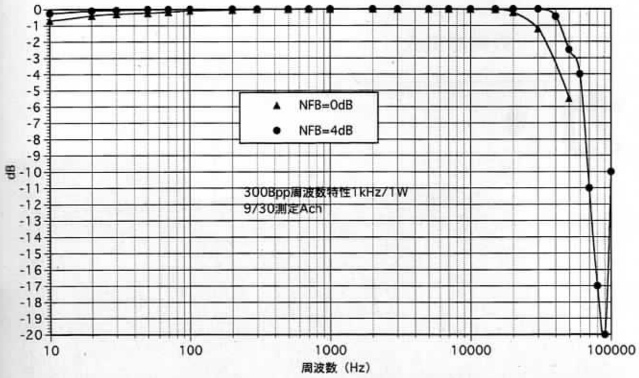
[図8]　300Bpp AB 級 60W のロードライン

プッシュプルのバランスと歪み率について

ところで11月号の **300Bpp** アンプのデータについてもう一つの質問を受けた. それは「無帰還アンプなのにあんなに低歪みになるとは信じられない」というものであった. しかしこれも E_p-I_p 特性から推測できるように, **300B** は極めてリニアリティの優れた出力管であり, 前段さえ低歪みにすれば無帰還でも自然と低歪みのアンプになるのだ. ところが低歪みの前段というのは結構難しい. しかも 140V_{p-p} もの出力電圧が必要となるとなおさらであり, 特にドライブ管の選定が難題である. 本機に使用した**6350**はリニアリティが極めて優れ, 低内部抵抗と使いやすい増幅率, しかも過電流などのオーバーロードにも強いといった特徴を持ち, そうした目的には打ってつけだ.

ただしリニアリティが優れた真空管を使っても調整が必要なのは言うまでもない. 無調整ではあのように低歪みにはならない. その調整とは別に難しいことではなく, プッシュプルの DC バランスと AC バランスを取るだけである.

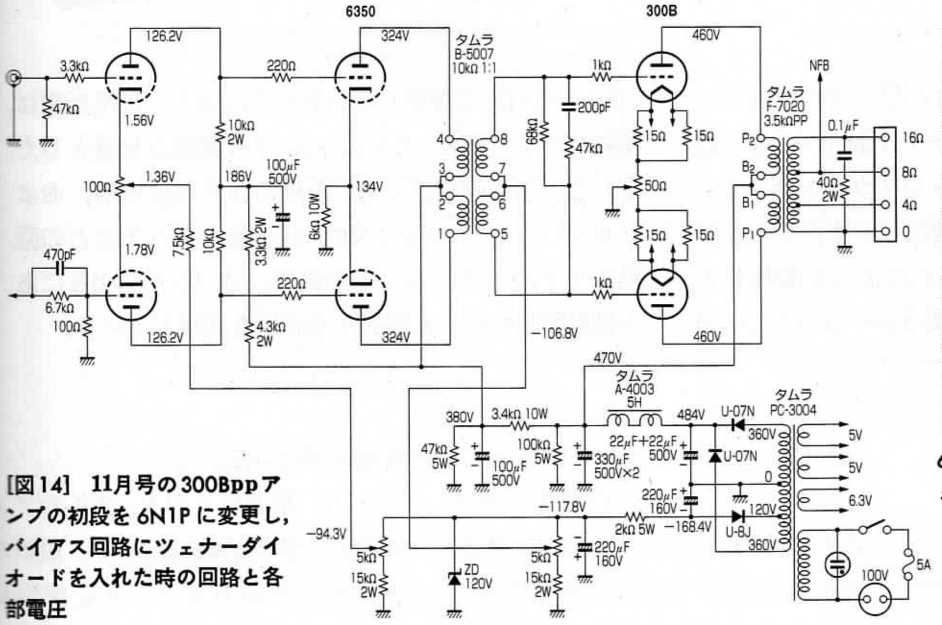
DC バランスの調整はテスターだけで行えるが, AC バランスの調整にはオシロスコープでの波形の



[図13] 11月号の300Bppアンプの無帰還時と4dB負帰還時の周波数特性比較

[表2] スヴェトラーナ6N1Pの定格

定格	
ヒーター電圧	6.3±0.6V
ヒーター電流	600±35mA
ヒーター・カソード間耐圧	±100Vpeak
増幅率	33
相互コンダクタンス	7500μS
プレート内部抵抗	4400Ω
グリッド・カソード間容量	3.2pF
プレート・カソード間容量	1.5pF
グリッド・プレート間容量	1.6pF
最大定格	
プレート電圧	250V
プレート損失（各電極ごと）	2.2W
連続プレート電流（各電極ごと）	20mA
最大グリッド抵抗	0.5MΩ



[図14] 11月号の300Bppアンプの初段を6N1Pに変更し，バイアス回路にツェナーダイオードを入れた時の回路と各部電圧

6DJ8と一部異なるが互換性を持つスヴェトラーナ6N1P

に下回る低歪みになった．同じように1999年7月号のSV6550Cパラppアンプも再調整したが，これも図11のように歪みが低下した．

最後にオーバーオールNFBを掛けたデータを図12に示す．NFB量はわずか4dBであるが，その分だけ低歪みになって，周波数特性も図13のように高低ともに広がっている．なおNFBは歪みの低減や特性の改善を目的としたのではなく，単にDF値を高めるためである．

また，マイナス電源部には調整の簡易さを狙って120Vのツェナーダイオードを入れた．図14は現在の回路定数である．さらに初段の6DJ8はスヴェトラーナの6N1Pに変更した．定格は表2に示す．

これによる増幅率は6DJ8と同じ33だが，g_mは7500で6DJ8の12500より低い．ただしリニアリティは6N1Pの方が優れている．その他ではプレート損失が2.2Wで6DJ8の1.5倍，最大プレート電圧も250Vと大きく，しかも内部抵抗は4.4kΩと低いのでプリアンプやパワーアンプの初段のみならずドライブ管としても使える．

6N1Pの一番の特徴は管内の2つが極めて揃っていることで，まさに差動アンプに打ってつけの双3極管である．どのくらい揃っているかというと，共通カソードの100Ω VRを10Ωにしても十分バランスが取れる，といえばおわかりになるだろう．しかも価格は¥700ほどと安い．ノイズも極めて少ない．

【参考文献】

1) 武末一馬：パワーアンプの設計と製作(下)，ラジオ技術社．
2) 長真弓：真空管アンプ設計自由自在，誠文堂新光社．